

## ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Мельник М.А.<sup>1</sup>, Волкова Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия (634055, г. Томск, проспект Академический, 10/3), e-mail: melnik-m-a@yandex.ru

На основании проведенных расчетов проанализирован биоэнергетический потенциал лесных ресурсов Томской области по общим запасам и по приросту фитомассы. С помощью ГИС-технологий проведена оценка пространственного распределения биоэнергетического потенциала по основным лесообразующим породам в рамках лесничеств. Выявлено, что дифференциация территории области по показателю энергетической продуктивности имеет ярко выраженную субширотную зональность и в определенной степени коррелирует с распределением плотности солнечной энергии. По предварительной оценке, в фитомассе стволовой древесины Томской области сосредоточено  $268,887 \cdot 10^{17}$  Дж тепловой энергии. Расчеты, проведенные с позиции энергетического анализа, дают объективную оценку состояния лесного фонда и могут быть использованы для составления планов рубок и организации работ по освоению лесов. Отмечается целесообразность использования древесно-энергетического потенциала в западных районах области для нужд местного населения.

Ключевые слова: биоэнергетический потенциал, прирост фитомассы, районирование.

## TERRITORIAL FEATURE OF BIOENERGY POTENTIAL OF FOREST RESOURCES IN TOMSK OBLAST

Melnik M.A.<sup>1</sup>, Volkova E.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia (634055, Tomsk, Akademicheskyy Av., 10/3), e-mail: melnik-m-a@yandex.ru

The bioenergy potential of forest resources of Tomsk oblast was analyzed on common stocks and the increase of phytomass by the basis of obtained calculations. With the help of GIS technology assessment of spatial bioenergy potential on major species within forest areas is conducted. Revealed that the differentiation of the region in terms of energy production has a distinct sub-latitudinal zonation. It is certain extent correlated with the density distribution of solar energy. According to preliminary estimates  $268,887 \cdot 10^{17}$  J of heat energy are focused in biomass of stem wood of the Tomsk region. Calculations carried out from a position of energy analysis provide an objective assessment of the state of forests. It can be used to develop plans for logging and organization of work for the development of forests. The use of wood-energy potential in the western areas of the region for the needs of the local population is advisable.

Keywords: bioenergy potential, increase in biomass of wood, zoning.

Лесная экосистема под влиянием происходящих в ней различных физиологических процессов: фотосинтеза, дыхания, водообмена и обмена питательных веществ, поступательно, в течение нескольких десятилетий, накапливает свой энергетический потенциал. Основными агентами приходящей энергии являются солнечная энергия, энергия почвы и осадков. В дальнейшем часть накопленной лесом энергии используется человеком в виде деловой древесины и топлива. Причем в качестве топливных ресурсов человек может изымать из среды не более 70% энергии, сконцентрированной в стволовой древесине, остальная часть фитомассы, заключенная в ветвях, хвое, листве и корневой системе, в современных условиях не нашла широкого применения.

Древесина различных пород деревьев существенно отличается по теплотворной способности и по скорости накопления древесной массы, следовательно, величина

биоэнергетического потенциала лесов может значительно варьировать в зависимости от породного состава и условий произрастания. Так, например, химический состав абсолютно сухой древесины для любой породы дерева одинаков (49,5% углерода, 6,3% водорода, 44,1% кислорода), и, следовательно, величина массовой теплотворной способности, определяемая как сумма теплотворных способностей всех ее отдельно взятых химических элементов, не зависит от породы. Тогда как значение объемной удельной теплотворности древесины прямо пропорционально ее плотности и существенно отличается в зависимости от породы [6]. Для Томской области наиболее энергоэффективными породами являются лиственница и береза, их теплотворные способности равны 11053,15 и 10878,4 МДж/м<sup>3</sup>, для тополя аналогичный показатель значительно ниже – 6698,8 МДж/м<sup>3</sup>.

Помимо породного состава, величина биоэнергетического потенциала леса зависит от условий местопроизрастания, количественной характеристикой этого фактора является класс бонитета. Хвойные леса с наиболее высоким классом бонитета расположены в южных лесничествах области (Томское, Тимирязевское, Зырянское, Кожевниковское) и в некоторых центральных (Первомайское, Асиновское, Улу-Юльское). Для лиственных лесов наилучшие лесорастительные условия наблюдаются также в южных и центральных районах, но еще и в лесничествах, расположенных на западе области (Кедровское и Васюганское). Объясняется это, прежде всего, климатическими и почвенными особенностями, а также локальным влиянием водных экосистем.

Для Томской области с ее большой территорией, относительным разнообразием породного состава и условий произрастания лесов наблюдается весьма ощутимая пространственная дифференциация как ресурсно-сырьевого, так и биоэнергетического потенциала.

Под *биоэнергетическим потенциалом лесов* нами понимается количественно выраженный запас энергии, заключенный в фитомассе древесины насаждения с учетом энергетической продуктивности лесопокрытой территории. Продуктивность рассматривается здесь как способность леса к наиболее быстрому преобразованию и аккумулярованию энергии. Пространственная оценка биоэнергетического потенциала лесов является весьма актуальной и насущной народнохозяйственной задачей в условиях ограниченности невозобновляемых энергетических ресурсов. Поскольку скорость возобновления биоэнергетических ресурсов достаточно высока, то их можно рассматривать в качестве перспективных альтернативных источников энергии.

**Объект исследования.** Томская область отличается высокой лесистостью – 59,4%, самой большой в Западно-Сибирском регионе [3]. Земли лесного фонда занимают 28,4 млн га или 90,5% всей ее территории. Хвойные насаждения составляют 53,7% покрытой лесом

площади, из них сосна – 29,1%, кедр – 18,9%, ель и пихта – 5,7%. Общий запас древесины составляет 2820,8 млн м<sup>3</sup>, в том числе хвойной – 1616,0 млн м<sup>3</sup>. Более 70% лесного фонда представлено эксплуатационными лесами, около 30% – защитными [3].

При значительном лесорастительном потенциале доля лесного хозяйства области в структуре валового регионального продукта в настоящее время составляет всего лишь 6% [7]. Даже в годы активной лесозаготовительной деятельности лесная промышленность области использовала менее 1/4 части древесного запаса, подлежащего рубке, это привело к накоплению спелых и перестойных насаждений, на долю которых приходится 54,3% площади всех лесов [1]. При этом доля спелых и перестойных насаждений в осиновых и березовых лесах значительно выше, чем у всех хвойных. Все это говорит о больших потенциальных возможностях лесозаготовок в Томской области. Что касается энергетического использования лесных ресурсов, то здесь наблюдаются территориальные различия в уровне потребления.

Наиболее освоенные и плотно заселенные земли сосредоточены в южных и юго-восточных районах, где основной упор в устойчивом энергетическом развитии сделан на невозобновляемые источники (уголь, нефть, газ). Однако на территории области 139 сельских населенных пунктов, в которых проживает почти 100 тысяч человек, не имеют регулярного транспортного сообщения с районными центрами и относятся к зонам децентрализованной подачи электроэнергии. Согласно данным местных ученых [2; 4], состояние дизельных электростанций в децентрализованной зоне крайне неудовлетворительное, ремонт оборудования экономически нецелесообразен. Именно для таких поселков лесные древесные ресурсы являются наиболее перспективными, и их использование способно частично или полностью снять энергетические проблемы.

**Методы и подходы.** В работе предлагается двухсторонняя оценка биоэнергетического потенциала лесных насаждений Томской области. С одной стороны, оцениваются общие энергетические запасы древесно-сырьевых ресурсов по лесничествам области, а с другой – энергетическая продуктивность территории лесничеств с учетом среднего прироста насаждений. Показатель среднего прироста насаждений, определяемый как отношение запаса сырорастающего леса к возрасту, может выступать не только характеристикой скорости увеличения объема древесины древостоя, но и опосредованно являться индикатором продуктивности насаждения.

Для количественной характеристики удельного энергетического запаса анализируется количество энергии, содержащейся в стволовой древесине, на 1 га лесопокрытой площади для каждого лесничества области. Расчеты основываются на показателях среднего запаса насаждений и удельной теплотворной способности различных пород древесины, с учетом

породного состава древостоя. Для каждого лесничества Томской области значение удельного энергетического запаса определялось по формуле:

$$E_M = \sum_{i=1}^n M_i \cdot Q_i \cdot S_i$$

где  $E_M$  – показатель удельного энергетического запаса лесопокрытой площади, Дж/га;  $Q$  – объемная рабочая теплотворная способность древесины каждой лесообразующей породы, Дж/м<sup>3</sup>;  $M$  – показатель запаса насаждения для каждой лесообразующей породы, м<sup>3</sup>/га;  $S$  – доля каждой породы на лесопокрытой площади;  $n$  – количество лесообразующих пород.

Продуктивность территории по среднему приросту насаждений в разрезе лесничеств Томской области рассчитана с учетом значений теплотворной способности древесины и величины среднего прироста основных лесообразующих пород, согласно следующей формуле:

$$E_Z = \sum_{i=1}^n Z_i \cdot Q_i \cdot S_i$$

где  $E_Z$  – количество энергии, которое в течение года накапливается лесной экосистемой в результате аккумуляции и трансформации солнечной составляющей и энергии почв, Дж/га;  $Q$  – объемная рабочая теплотворная способность древесины каждой лесообразующей породы, Дж/м<sup>3</sup>;  $Z$  – средний прирост каждой лесообразующей породы, м<sup>3</sup>/га;  $S$  – доля каждой породы на лесопокрытой площади;  $n$  – количество лесообразующих пород.

Значение показателя удельного энергетического запаса лесопокрытой площади демонстрирует количество тепловой энергии, накопленной в стволовой древесине к настоящему периоду. Показатель продуктивности территории по среднему приросту насаждений говорит о перспективах на будущее. Комплексный анализ энергетического запаса и энергетической продуктивности насаждений позволяет выявить районы с наибольшим биоэнергетическим потенциалом и показать их территориальные особенности.

Информационно-аналитическая база основывается на исследованиях экологического отделения ИМКЭС СО РАН, на аналитических и статистических данных Департамента лесного хозяйства Томской области и данных коммерческих лесозаготовительных организаций (1996-2010 гг.). Анализ был выполнен на основе статистического и картографического материалов, позволяющих провести энергетический анализ территории по древесной растительности в среде ГИС-пакета Mapinfo.

**Результаты и их обсуждение.** Проведенные расчеты показали, что энергетический запас лесов Томской области, рассчитанный по низшей теплотворной способности древесины всех лесообразующих пород, составил  $268,887 \cdot 10^{17}$  Дж. Основная доля (37%) в структуре общего энергетического запаса приходится на березовые леса и составляет 9916,24 ТДж, далее идут кедровые (27%), сосновые (21%) и осиновые (10%) насаждения (рис. 1).

По показателю удельного энергетического запаса (2580,5 ГДж/га) лидирует Томское лесничество (рис. 2), что объясняется значительной долей в породном составе самых энергоэффективных для Томской области березовых лесов и наибольшим классом бонитета как лиственных, так и хвойных насаждений. Сохранение запасов древесины, в том числе и энергетических, объясняется тем, что 40% лесопокрытой площади лесничества занято защитными лесами, а также запретом рубок главного пользования в 60-километровой зоне от границ г. Томска. Однако высокие значения удельного энергетического запаса не имеют здесь промышленного значения, поскольку общая площадь лесов в Томском лесничестве составляет всего 26,9 тыс. га [3].

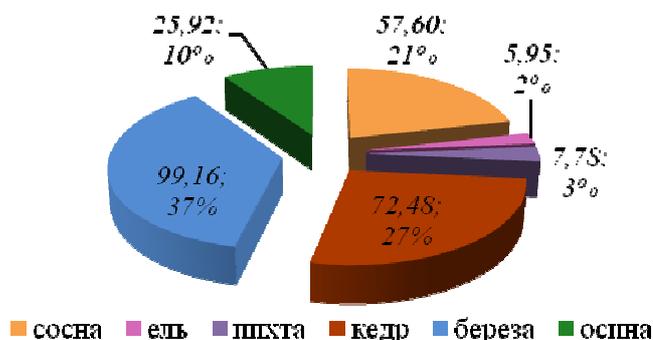


Рис. 1. Структура энергетического запаса лесов Томской области,  $10^{17}$  Дж.

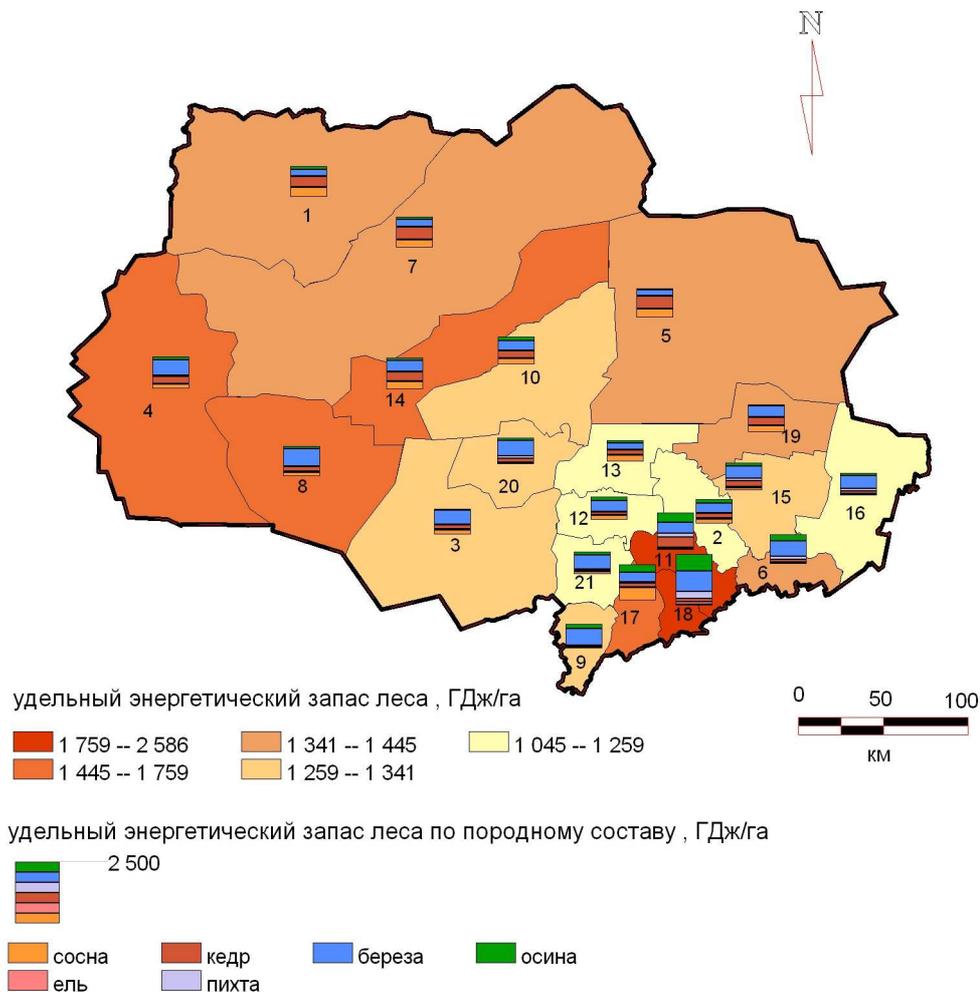


Рис. 2. Удельный энергетический запас лесов Томской области.

Лесничества: 1 – Александровское, 2 – Асиновское, 3 – Бакчарское, 4 – Васюганское, 5 – Верхнекетское, 6 – Зырянское, 7 – Каргасокское, 8 – Кедровское, 9 – Кожевниковское, 10 – Колпашевское, 11 – Корниловское, 12 – Кривошеинское, 13 – Молчановское, 14 – Парабельское, 15 – Первомайское, 16 – Тегульдетское, 17 – Тимирязевское, 18 – Томское, 19 – Улу-Юльское, 20 – Чаинское, 21 – Шегарское.

Обращают на себя внимание высокие показатели удельного энергетического запаса в Корниловском, Тимирязевском, Васюганском и Кедровском лесничествах. В двух первых преобладают высокобонитетные хвойные леса; в силу значительной ценности их древесины использовать потенциал этих территорий в энергетическом контексте нецелесообразно. В Васюганском и Кедровском лесничествах, напротив, значительную долю составляют березовые леса с высоким коэффициентом теплоотдачи. К тому же территория этих лесничеств является отдаленной и труднодоступной, отсутствие круглогодичных дорог значительно увеличивает себестоимость заготовки и вывозки древесины, что существенно сокращает объемы лесозаготовок и способствует сохранению запасов древесины.

Сокращению объемов спелых и перестойных лиственных насаждений здесь может способствовать увеличение потребления древесины для нужд местного населения, в первую очередь в энергетическом секторе.

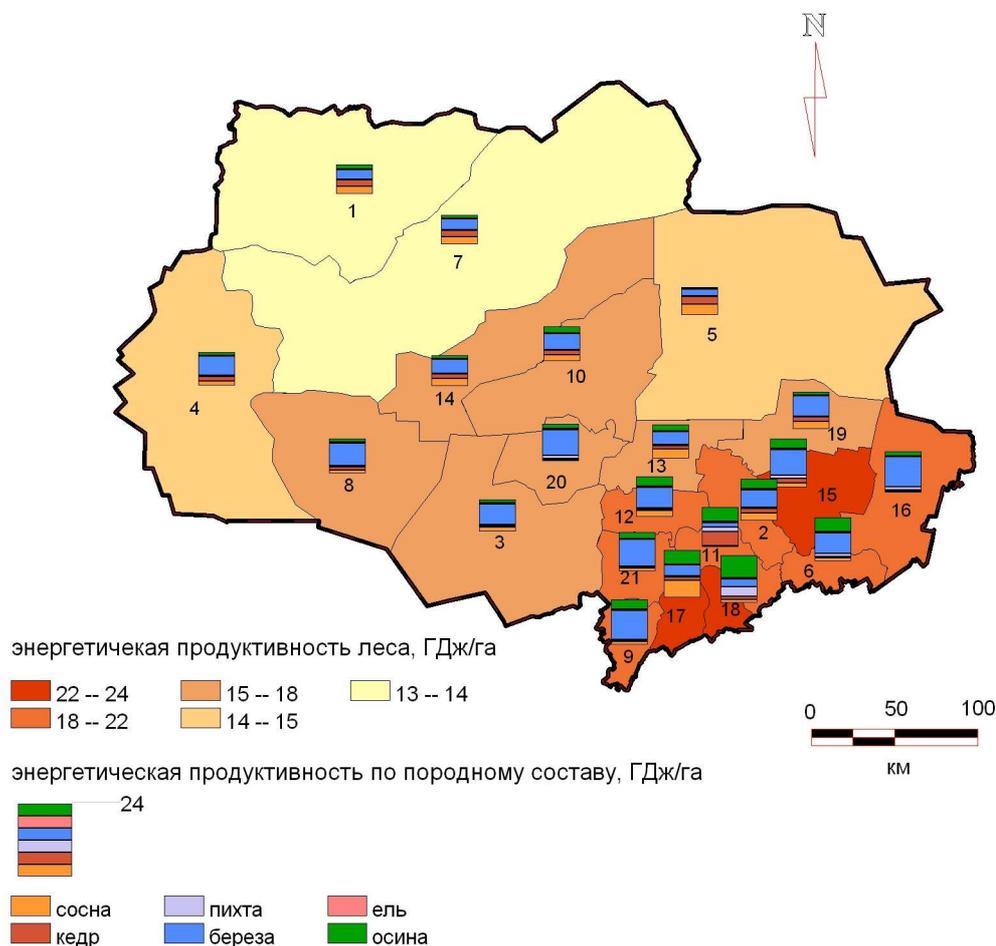


Рис. 3. Энергетическая продуктивность лесов Томской области.

Лесничества: 1 – Александровское, 2 – Асиновское, 3 – Бакcharское, 4 – Васюганское, 5 – Верхнекетское, 6 – Зырянское, 7 – Каргасокское, 8 – Кедровское, 9 – Кожевниковское, 10 – Колпашевское, 11 – Корниловское, 12 – Кривошеинское, 13 – Молчановское, 14 – Парабельское, 15 – Первомайское, 16 – Тегульдетское, 17 – Тимирязевское, 18 – Томское, 19 – Улу-Юльское, 20 – Чаинское, 21 – Шегарское.

Остальные лесничества области имеют более низкий биоэнергетический запас (менее 1340 ГДж/га). Мозаичность пространственного распределения лесов по удельному энергетическому запасу в первую очередь объясняется территориальной неоднородностью и различной степенью интенсивности ведения лесозаготовительной деятельности. Такие особенности развития лесопромышленного комплекса обусловлены антропогенной освоенностью территории и развитием дорожно-транспортной инфраструктуры области.

Пространственная дифференциация лесов по показателю энергетической продуктивности (рис. 3) имеет ярко выраженную субширотную зональность и в

определенной степени коррелирует с распределением плотности солнечной энергии по территории области [5]. Однако гидрологические особенности, рельеф и заболоченность территории накладывают свое влияние, сдвигая зоны распределения энергетической продуктивности на юго-восток.

Анализ продуктивности территории по среднему приросту насаждений в разрезе лесничеств Томской области показал, что наиболее эффективными в энергетическом плане являются леса Тимирязевского, Первомайского и Томского лесничеств. Это обусловлено как высокими показателями класса бонитета лесов, так и тем, что березовые насаждения, вносящие основной вклад в величину энергетической продуктивности, имеют здесь наименьшие по области показатели среднего возраста.

Таким образом, по совокупности двух выше описанных показателей можно сказать, что наибольший энергетический потенциал имеют леса, расположенные в южных и юго-восточных районах области. Наибольшая освоенность этих территорий, высокая плотность населения, наличие хорошо развитой инфраструктуры, в том числе и дорожно-транспортной сети, создают предпосылки для эффективного ведения лесозаготовительных работ в промышленных целях. Но теплоэнергетическое использование этих лесов эффективно лишь для нужд местного населения, поскольку потребности промышленной энергетики в этих районах чрезвычайно высоки.

Значительные показатели энергетического запаса и энергетической продуктивности наблюдаются в более северных лесах Кедровского, Парабельского и Васюганского лесничеств. Здесь в породной структуре лесов преобладают березовые насаждения, значительно менее ценные в промышленном отношении, чем хвойные породы. Однако производительность мягколиственных лесов и теплотворная способность их древесины значительно выше, это обуславливает их высокую энергопродуктивность. С учетом отдаленности и труднодоступности этих территорий столь высокий биоэнергетический потенциал создает дополнительные преимущества для этого региона.

**Выводы.** В результате проведенного исследования установлено, что субширотное распределение биоэнергетической продуктивности лесов Томской области обусловлено преимущественно природными факторами (зональным поступлением солнечной энергии, почвенными, гидрологическими, геоморфологическими условиями). Однако разная интенсивность ведения лесозаготовительной деятельности привела к азональной дифференциации запасов биоэнергии в лесах области. Наблюдается обратная корреляционная зависимость величины удельного энергетического запаса от степени антропогенной освоенности территории.

Расчеты, проведенные с позиции энергетического анализа, дают объективную оценку лесного фонда Томской области и могут быть использованы для составления планов рубок и организации работ по освоению лесов. Активное использование древесно-энергетического ресурса области приведет к значительному повышению среднего годового прироста за счет уменьшения спелых и перестойных лесов, на долю которых сейчас приходится более половины лесопокрытой площади [1]. Энергетический потенциал древесины может стать основным альтернативным видом энергоресурсов для многих отдаленных и малонаселенных районов области (Кедровское, Парабельское и Васюганское лесничества), где имеются все предпосылки для использования энергии древесной биомассы: с одной стороны, большие запасы древесно-сырьевых ресурсов, а с другой – дефицит энергии [2]. Дополнительным преимуществом в повышении энергоэффективности использования древесины должно быть внедрение газогенераторных электростанций на древесном топливе (на смену дизельным).

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-98060 р\_сибирь\_а).*

### Список литературы

1. Данченко А.М. [и др.] Кадастр возможностей / под ред. Б.В. Лукутина. – Томск : Изд-во НТЛ, 2002. - С. 212–215.
2. Коновалова Л.П., Лукутин Б.В. Оценка возможности внедрения газогенераторных установок для энергообеспечения удаленных потребителей Томской области // Вести высших учебных заведений Черноморья. – 2009. – № 1 (15). – С. 75-78.
3. Лесной план Томской области на 2009-2018 гг. / Департамент развития предпринимательства и реального сектора экономики Томской области. - Томск, 2008. – Книга 1. – 238 с.
4. Литвак В.В., Лукутин Б.В., Яворский М.И. Энергетическая география Томской области. – Томск : Дельтаплан, 2005. – 80 с.
5. Отчет о НИР «Трансформация энергетических характеристик геосистем в условиях глобальных климатических изменений (на примере модельных геосистем в характерных географических зонах Сибири)» (№ госрегистрации 01201051562). – 2012. - 60 с.
6. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения : учебник для лесотехнических вузов. – М. : МГУЛ, 2001. – С. 48.
7. Экологический мониторинг: состояние окружающей среды Томской области в 2010 году. – Томск : Графика, 2009. – 148 с.

**Рецензенты:**

Тимошок Е.Е., д.б.н., старший научный сотрудник, заведующая лабораторией динамики и устойчивости экосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск;

Дюкарев А.Г., д.г.н., заведующий лабораторией мониторинга лесных экосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск.