

УДК 630*905.2

UDC 630*905.2

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ
БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ****TECHNIQUE OF A SUBSTANTIATION OF AN
ENERGY POTENTIAL OF FOREST
TERRITORIES**

Рукомойников Константин Павлович
к.т.н., доцент
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Rukomojnikov Konstantin Pavlovich
Cand.Tech.Sci, associate professor
*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,
Russia*

В статье предложен новый подход к обоснованию биоэнергетического потенциала лесных территорий, его структуры и методов определения. Методика позволяет оценить запасы энергии в основных компонентах биоэнергетической системы лесных территорий

The new approach to a substantiation of a bio-power potential of forest territories, its structure and methods of definition is offered in article. The technique allows estimating stocks of energy in the basic components of bio-power system of forest territories

Ключевые слова: БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, МЕТОДИКА, ЛЕСНАЯ ТЕРРИТОРИЯ, ЛЕСОЗАГОТОВКА, ЛЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Keywords: BIO-POWER POTENTIAL, TECHNIQUE, FOREST TERRITORY, FOREST EXPLOITATION, SILVA

В настоящее время существует значительное количество методик обоснования биоэнергетического потенциала лесов [2, 3, 5]. Эти методики позволяют с достаточной степенью точности и достоверности рассчитать существующий биоэнергетический запас лесной растительности на текущий период времени. Однако, они не позволяют проанализировать динамику изменения биоэнергетического потенциала лесных территорий, не учитывают возможное размещение на их территории лесосечных отходов от ранее проведенных рубок леса, не учитывают биоэнергетический потенциал почвенного покрова, формируемого на протяжении многих лет, а так же не предоставляют возможности исследователю проследить последующие изменения, связанные с планируемыми на территории операциями лесосечных работ.

Потенциал биомассы следует разделять на многолетний и годовой. Основную часть многолетнего потенциала составляет биомасса стволовой древесины, которая формируется десятилетиями. Применение стволовой древесины в энергетических целях нецелесообразно.

Таким образом, фактически энергетический потенциал биомассы должен рассчитываться либо до, либо после проведения основных операций лесосечных работ и вывозки заготовленной древесины, с учетом остающейся на лесосеке лесной растительности и древесных отходов. Используемый в существующих методических рекомендациях расчет биоэнергетического потенциала без учета технологических аспектов лесной промышленности и факторов, предусматривающих необходимость обязательного проведения на территории операций лесосечных работ, имеет ограниченное практическое значение. Основная часть биоэнергетического потенциала лесных территорий формируется в основном из годового прироста лесной массы, однолетних растений (травы, быстрорастущие кустарники), а так же древесных отходов, получаемых при лесозаготовках и деревообработке.

Рассматривая в данной работе биоэнергетический потенциал лесных территорий с позиции комплексного анализа, сделана попытка предложить свой подход к обоснованию биоэнергетического потенциала лесных территорий, его структуры и методов определения. Это позволило оценить запасы аккумулированной энергии в основных компонентах биоэнергетической системы лесных территорий и количество трансформируемой энергии, которая может быть мобилизована и использована для роста и воспроизводства древесных и кустарниковых растений, почвенной флоры и фауны и на почвенные процессы. Количественно учтены основные экологические и биоэнергетические функции органического вещества почвы лесных территорий и произрастающей на ней лесной растительности как аккумулятора и источника энергии.

Ресурсы биомассы лесных территорий, пригодной для производства энергии, весьма значительны. К таким видам ресурсов относятся все биомассы природного (древесина, кустарники, травы и т. д.) происхождения. При этом в анализе должны учитываться как надземные, так и подземные

составляющие лесной растительности. Биоэнергетический потенциал лесной растительности (Π_1) может быть рассчитан по формуле:

$$\Pi_1 = \sum_{j=1}^m \sum_{g=1}^n (Z_{jg} \cdot \mathcal{E}_{jg}),$$

где Z_{jg} – масса g фракции для анализируемой породы деревьев, т; \mathcal{E}_{jg} – высшая теплотворная способность на сухую биомассу для g – фракции, анализируемой j породы древесины, ккал/т (Мдж/т); m – количество различных пород древесины на лесной территории; j – порядковый номер анализируемой породы древесины; n – количество анализируемых фракций лесной биомассы каждой из анализируемых пород деревьев; g – порядковый номер анализируемой фракции лесной биомассы.

Оценка теплотворной способности на абсолютно сухую биомассу предпочтительнее, чем на рабочую биомассу.

Методика расчета биоэнергетического потенциала лесных территорий должна позволить исследователю проследить в динамике возможности биоэнергетического потенциала анализируемой территории. Таким образом, в расчетах должны быть учтены и возможные показатели снижения или увеличения биоэнергетического потенциала лесного участка на протяжении продолжительного периода времени, что связано с динамикой ежегодного прироста надземной и подземной частей древесно-кустарниковой растительности и возможным снижением или увеличением плодородия почвы лесного участка. Биоэнергетический потенциал ежегодного прироста надземной и подземной частей древесно-кустарниковой лесной растительности (Π_2) может быть рассчитан по формуле:

$$\Pi_2 = \sum_{i=0}^k \sum_{j=1}^m \sum_{g=1}^n (\Delta Z_{ijg} \cdot \mathcal{E}_{jg}),$$

где ΔZ_{ijg} – планируемое изменение массы g фракции для анализируемой породы деревьев за анализируемый год, обозначенный порядковым номером i , т; i – порядковый номер анализируемого года, следующего за текущим ($i=0..k$); k – количество лет по итогам которых рассчитывается биоэнергетический потенциал лесного участка.

Объемы отходов, которые остались на лесосеке после проведения на ней лесосечных работ увеличивают биоэнергетический потенциал лесного участка (Π_3). Количество и наименование отходов зависит от использованного на проведении работ на лесосеке технологического процесса заготовки древесины. В зависимости от природно-производственных условий, вида рубок и целевого назначения заготавливаемого древесного сырья применяются несколько технологических процессов лесосечных работ [7].

$$\Pi_3 = \sum_{p=1}^h \sum_{j=1}^m \sum_{f=1}^{d_p} (Z_{jf}^{\text{отх}} \cdot \mathcal{E}_{jf}),$$

где $Z_{ig}^{\text{отх}}$ – масса отходов производства, полученных в результате лесосечных работ прошлых лет (срок анализа ограничен периодом сохранности лесосечных отходов в условиях лесосеки), т; \mathcal{E}_{jf} – высшая теплотворная способность на сухую биомассу для f – фракции, анализируемой j породы древесины, ккал/т (Мдж/т); f – порядковый номер фракции древесных отходов формируемой при выполнении операций лесосечных работ; p – порядковый номер анализируемой готовой продукции, шт; h – количество наименований вывезенной готовой продукции (деревья, хлысты, сортименты, щепа и т.д.), шт; d_p – количество фракций древесных отходов, получаемых при выполнении операций лесосечных работ.

С экологических и лесоводственных позиций наряду с запасами наземной энергии на территории лесных участков, заключающейся в древесине, кустарниках, травах и т.д. важно и актуально оценивать и ту часть

энергии которая заключена в гумусовых веществах, формируемых при разложении листвы и древесной массы в лесу и торфе лесных болот и может быть мобилизована в процессе его трансформации, участвует в потоках вещества и энергий, используется живыми организмами для своей жизнедеятельности, а следовательно, определяет продуктивность лесных насаждений, влияет на почвенные процессы и плодородие.

В связи с обострением экологической ситуации на планете, истощением и деградацией почв, в том числе и черноземных, проблема изучения их энергетических ресурсов, рационального использования и управления ими становится чрезвычайно актуальной.

Таким образом, при разработке методики оценки биоэнергетического потенциала лесных территорий необходима оценка потенциала природных и почвенных ресурсов и анализ энергетических процессов, протекающих в почве. Поэтому возникла необходимость в решении вопроса об энергопотенциале органического вещества почвы (P_4), оценке органического вещества почвы как аккумулятора и источника энергии лесных территорий.

$$P_4 = \left(Z_{\text{орг}} + \sum_{i=0}^k \Delta Z_{\text{орги}} \right) \cdot \mathcal{E}_{\text{орг}},$$

где $Z_{\text{орг}}$ - запас органического вещества почвы, т.; $\mathcal{E}_{\text{орг}}$ - энергосодержание органического вещества, ккал/т (Мдж/т). Для всех типов почв теплотворную способность гумуса условно принимают равной 4000 калорий на 1 г.; $\Delta Z_{\text{орги}}$ - изменение запаса органического вещества почвы возможное в i году, т.

Если на рассматриваемом участке в ближайшее время планируется проведение лесосечных работ, то расчет биоэнергетического потенциала лесных территорий можно провести без объема древесины, идущей на дальнейшую переработку и получение хозяйственно ценной лесопродукции. Ее биоэнергетический потенциал составит:

$$П_5 = \sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^{v_b} (Z_{jb}^{Г.П} \cdot \mathcal{E}_{ja}),$$

где $Z_{jb}^{Г.П}$ – масса готовой продукции b – наименования, j – древесной породы, которую планируется заготовить на лесной территории в анализируемом периоде, т; \mathcal{E}_{ja} – высшая теплотворная способность на сухую биомассу для b – наименования планируемой древесной продукции, ккал/т (Мдж/т); b – порядковый номер планируемого наименования готовой продукции в объеме будущих лесозаготовок, шт; a – порядковый номер фракции входящей в состав планируемой готовой продукции b - наименования. v_b – количество фракций, которые будут получены при заготовке готовой продукции b -наименования в планируемом периоде; w - количество наименований готовой продукции (деревья, хлысты, сортименты, щепа и т.д.) которую планируется заготовить на анализируемой лесной территории, шт.

Анализ всех рассмотренных выше показателей позволяет провести комплексную оценку биоэнергетического потенциала лесных территорий и рассмотреть в динамике запасы лесной фитомассы (надземной и подземной), ежегодный прирост ее энергии, запасы энергии органического вещества почвы и ее баланс.

В Системе Государственного учета лесов основным показателем являются качественные и количественные характеристики стволовой древесины растущих деревьев (измеряемые в плотных кубических метрах без учета коры). Так как валовый (теоретический) потенциал энергии лесной биомассы включает в себя энергию биомасс растущих деревьев, напочвенного покрова, сухостоя и стволового кондиционного валежника на территории лесного участка, то именно объем древесины целесообразно использовать в расчетах, применяя переводные коэффициенты для определения

объемных и весовых показателей других, имеющихся в лесу фракций лесной растительности.

Запас древесины j – породы на лесной территории можно определить, зная породный состав насаждений и запас древесины.

$$Q_j = Q \cdot k_j,$$

где k_j – доля анализируемой породы в составе древостоя, выраженная в долях единицы.

Для использования показателя планируемого прироста запаса древесины на лесном участке (ΔQ_i) (при расчете второго слагаемого предложенной математической зависимости) необходимо применение модели роста лесной растительности. Модель роста леса должна описывать прирост древесины в зависимости от имеющегося запаса, или, по-другому, скорость роста биомассы или объема древесных пород от текущего значения биомассы. В настоящее время разработано значительное количество методик, позволяющих оценить планируемый прирост лесной растительности. [1, 4, 6]

При определении третьего слагаемого расчета биоэнергетического потенциала необходимо обосновать объемы отходов, полученных в результате рубки прошлых лет (срок анализа ограничен периодом сохранности лесосечных отходов в условиях лесосеки). Фактически этот показатель равен

$$Z_j^{\text{отх}} = \sum_{p=1}^n \left(\frac{V_{jp}^{\Gamma.П}}{1 - \sum_{f=1}^{d_p} N_{pjf}} \right) - \sum_{p=1}^n V_{jp}^{\Gamma.П} = \sum_{p=1}^n \left(V_{jp}^{\Gamma.П} \cdot \frac{\sum_{f=1}^{d_p} N_{pjf}}{1 - \sum_{f=1}^{d_p} N_{pjf}} \right)$$

где N_{pjf} – доля образования отходов f -фракции j -породы древесины при получении готовой продукции p - наименования; $V_{jp}^{2.n}$ – объем готовой продукции p -наименования j – древесной породы, вывезенный с лесного

участка в ходе выполнения на нем лесосечных работ за несколько прошедших лет (ограниченных периодом перегнивания отходов), при производстве которого были получены отходы в виде f – фракции i – древесной породы, m^3 ; $V_{jр}^{сырья}$ – объем сырья j - породы, потребовавшийся для вывозки суммарного объема готовой продукции p - наименования, во время ранее проведенной рубки, m^3 .

Для определения изменений запаса органического вещества почвы возможного в i году можно воспользоваться формулой:

$$\Delta Z_{орг i} = H_i - M_i = Z_{ни} \cdot e_1 - Z_{орг i} \cdot e_2,$$

где H_i - накопления гумуса из растительных остатков в i году, т.; $Z_{ни}$ - урожайность многолетних лесных трав, опад листвы и хвои деревьев в i - году, т. Количество ежегодно опадающих лесных остатков (листья, иглы, веточки и кора) на га почвы составляет от 3 000 до 5 000 кг; e_1 - коэффициент выхода остатков (0,15÷0,2); M_i - минерализация гумуса в почве в i – году, т; $Z_{орг i}$ - запас органического вещества почвы на начало i года, т.; e_2 - коэффициент минерализации гумуса в почве.

При расчете планируемых рубок (Π_5) руководящими материалами при обосновании объема работ на лесосеке являются показатели лесоустройства, характеризующие произрастающие на лесном участке породы древесины, их объемные показатели и рекомендации к проведению рубок. Основной показатель это объем древесины, отводимой в рубку. На его основе рассчитывается объем готовой продукции, который может быть получен в результате проведения работ на участке.

Биоэнергопотенциал древесины, идущей на дальнейшую переработку и получение готовой хозяйственно ценной продукции можно найти по формуле:

$$П_5 = \sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^{v_b} \left(\frac{\hat{V}_j^{\text{сырья}} \cdot 100 \cdot N_{bja} \cdot \rho_{ja} \cdot \mathcal{E}_{ja}}{l_j} \right),$$

где $V^{\Gamma.П}$ – планируемый объем готовой продукции, м³; N_{bja} – показатель, характеризующий долю объема каждой фракции заготовленной лесной растительности в объеме биомассы дерева; $\hat{V}_{bj}^{\text{сырья}}$ – объем сырья j породы, который планируется вырубить на территории лесного участка в процессе лесозаготовок для получения продукции b - наименования, м³. За объем сырья при его определении принимается объем стволовых частей деревьев. \mathcal{E}_{ja} - высшая теплотворная способность на сухую биомассу для a – фракции фракций планируемых отходов лесной растительности, анализируемой j породы древесины, ккал/т (Мдж/т).

$$N_{jg} = \frac{k_{jg}}{l_j},$$

где l_j – объем стволовой древесины анализируемой породы в процентах от общего объема биомассы дерева; k_{jg} - содержание g-фракции в процентах от общего объема биомассы дерева j- породы.

$$N_{pjf} = \frac{k_{pjf}}{100},$$

где k_{pjf} - содержание f-фракции отходов лесозаготовок в процентах от общего объема биомассы дерева j породы при получении готовой продукции p - наименования.

$$N_{bja} = \frac{k_{bja} - k_{bja}^{\text{П.Т.}}}{100},$$

где k_{bja} - содержание a-фракции, входящей в состав продукции b - наименования, в процентах от общего объема биомассы дерева j породы; $k_{bja}^{\text{П.Т.}}$ – технологические потери при заготовке a-фракции, входящей в состав продукции b – наименования j древесной породы, %.

Итоговая формула для расчета примет вид:

$$\begin{aligned} \Pi = & \sum_{j=1}^m \sum_{g=1}^n \left(\frac{Q \cdot k_j \cdot k_{jg} \cdot \rho_{jg}}{l_j} \cdot \mathcal{E}_{jg} \right) + \sum_{i=0}^k \sum_{j=1}^m \sum_{g=1}^n \left(\frac{\Delta Q_i \cdot k_j \cdot k_{jg} \cdot \rho_{jg}}{l_j} \cdot \mathcal{E}_{jg} \right) + \\ & + \sum_{p=1}^h \sum_{j=1}^m \left(V_{j^p}^{\Gamma.П.} \cdot \frac{\sum_{f=1}^{d_p} N_{pjf}}{1 - \sum_{f=1}^{d_p} N_{pjf}} \right) + \\ & + \left(\mathcal{Z}_{орг} + \sum_{i=1}^k (\mathcal{Z}_{ни} \cdot e_1 - \mathcal{Z}_{орг\ i} \cdot e_2) \right) \cdot \mathcal{E}_{орг} - \\ & - \sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^{v_b} \left(\frac{\hat{V}_j^{сырья} \cdot (k_{bja} - k_{bj\alpha}^{П.Т.}) \cdot \rho_{ja} \cdot \mathcal{E}_{ja}}{l_j} \right). \end{aligned}$$

где Π - биоэнергетический потенциал лесных территорий, ккал/т (Мдж/т); ρ_{ia} - плотность древесины a – фракции j - породы в абсолютно сухом состоянии; N_{jg} – показатель, характеризующий долю объема каждой фракций лесной растительности в общем объеме биомассы дерева.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по государственному контракту №16.515.11.5053 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2013 гг.

Список литературы

- 1) Vykhovets S.S., Zudina E.V., Zoubkova E.V. EFIMOD 2 – A model of growth and elements cycling of boreal forest ecosystems // Ecological Modelling. - 2003. - V.170. P. 373–392;
- 2) Буйнов В.П., Быков А.И. Веретенников В.Г. Потенциал нетрадиционных источников тепло- и электроснабжения Беларуси // Изв. АНБ. Сер. физико-техн. наук. - 1992. - № 4. - С. 101-105;
- 3) Гелетуха Г.Г., Марценюк З.А. Энергетический потенциал биомассы в Украине// Пром. теплотехника. - 1998. - Т.20, № 4. - С. 52-55;
- 4) Исаев А.С., Суховольский В.Г., Хлебопрос Р.Г. и др. Моделирование лесообразовательного процесса: феноменологический подход // Лесоведение. -2005. - № 1. - С.3–11.

5) Клюс С.В., Забарный Г.Н. Оценка и прогноз потенциала твердого биотоплива Украины // Компрессорное и энергетическое машиностроение.- №2 (24). – 2011. - С.8-13.

6) Колобов А.Н. Численно-аналитическое исследование модели роста дерева в условиях конкуренции за свет // Математическая биология и биоинформатика. - 2012. - Т.7. № 1. - С. 125–138.

7) Обоснование технологических параметров лесосек и режимов работы лесозаготовительных машин: Учебное пособие/ Ю.А.Ширнин, К.П.Рукомойников, Н.И.Рожецова, А.Ю.Ширнин// Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. –183 с.