



УДК 630*232.422;232.427;232.429

Энергетическая эффективность различных технологий создания лесных культур ели

© Д.С. Бурцев

Energy efficiency of different technologies spruce forest plants establishment

D.S. Burtsev (Saint-Petersburg Forestry Research Institute)

The evaluation of energy efficiency in production and plantation technologies crops spruce by the 25-year experience of their cultivation in oxalis site conditions of the southern taiga subzone of the Leningrad Region was determined. The effect of soil preparation method and later silvicultural treatments on the PAR assimilation of artificial forest phytocoenoses was shown. Additional power income obtained by increasing the cost of human energy to maintain the stability of a production block of artificial forest ecosystem was calculated. The high efficiency of the use of spruce planting intensive methods was shown.

Key words: forest plantations, energy efficiency, soil preparation, spruce

Энергетическая эффективность различных технологий создания лесных культур ели

Д.С. Бурцев

Проведена оценка энергетической эффективности производственных и плантационных технологий создания культур ели на основе 25-летнего опыта их выращивания в кисличных лесорастительных условиях подзоны южной тайги Ленинградской области. Показано влияние выбора способа обработки почвы и последующих связанных с ним лесохозяйственных мероприятия на усвоение ФАР искусственными лесными фитоценозами. Рассчитан дополнительный энергетический доход, полученный при увеличении затрат антропогенной энергии на поддержание стабильности продукционного блока искусственной лесной экосистемы. Показана высокая эффективность использования интенсивных способов создания лесных культур ели.

Ключевые слова: лесные культуры, энергетическая эффективность, обработка почвы, ель

ФБУ «Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства»,
Адрес: 194021, Санкт-Петербург, Институтский проспект, д. 21
Телефон: 8 (812) 552-80-21
E-mail: forest1641@gmail.com

Введение

В настоящее время в лесном хозяйстве нет единого метода, способного одновременно дать экологическую и экономическую оценку применяемым технологиям создания и выращивания лесных культур. Такие критерии как прибыль, рентабельность, себестоимость не отражают процессов функционирования экосистем и не дают представления о направленности их развития [1].

В практике сельского хозяйства во всем мире в качестве универсального метода широкое распространение получила оценка потоков энергии. На ее основе можно проводить сравнение разнообразных технологий, оценивать структуру затрат антропогенной энергии по отдельным агротехническим приемам, разрабатывать научно обоснованные нормы допустимой антропогенной нагрузки, гарантирующие сохранение устойчивости искусственных экосистем и всех составляющих ее элементов [4].

В связи с этим целью исследования явилось выявление наиболее рациональных технологий создания лесных культур ели в подзоне южной тайги, обеспечивающих наиболее полное использование затрат машин, механизмов и человеческого труда, используя метод оценки энергетической эффективности.

Методика исследования

Для оценки энергетической эффективности различных технологий создания культур ели были использованы полевые данные, полученные в результате исследований производственных культур учебно-опытного лесничества Ленинградской области. Закладка пробных площадей и таксация древостоя проводились по общепринятым методикам. Кроме того, в данной работе использованы данные о продуктивности культур, созданных по плантационным технологиям, из литературных источников [6]. Во всех случаях чистые или с небольшой примесью (1–2 единицы) лиственных пород культуры произрастают в различных лесорастительных условиях и отличаются только технологией создания, а именно способом обработки почвы (табл. 1). Для создания лесных культур были использованы следующие способы обработки почвы: нарезка прерывистых борозд плугом ПКЛ-70 («ПКЛ-70»), сплошная обработка почвы («сплошная»), создание дискретных микроповышений орудием ОРМ-1,5 («ОРМ-1,5»), нарезка дренаруемых борозд плугом ПШ-1 («ПШ-1») и контрольный вариант без обработки почвы («целина»).

Таблица 1

Характеристика исследуемых объектов

Способ обработки почвы	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Текущая густота, шт./га	Запас, м ³ /га	Бонитет
Производственные культуры ели						
«ПКЛ-70»	22	5,5±0,19	5,6±0,20	3700	40	III
«сплошная»	24	8,7±0,43	10,2±0,77	2900	120	II
Плантационные культуры ели (по: [6])						
«целина»	26	8,5	7,0±0,35	2300	50	II
«ОРМ-1,5»	26	11,0	9,7±0,40	950	45	I
«ПШ-1»	26	10,7	9,7±0,28	3900	205	I
Эталонное естественное насаждение ели (по: [7])						
—	25	6,3	7,2	4200	64	II

Возраст культур 22–26 лет, что соответствует возрасту первого прореживания и окончания цикла лесовосстановления [10]. Для вычисления коэффициента дополнительной энергетической эффективности мы также использовали литературные данные о продуктивности естественных древостоев ели в кисличных лесорастительных условиях Северо-Запада Европейской части России [7].

В связи с разной исходной и текущей плотностью насаждений при оценке энергетической эффективности сравнение проводилось по лучшим 500 деревьям ели, предположительно деревьям будущего, которые к возрасту рубки должны сформировать основной запас древостоя.

При анализе энергетической эффективности выращивания лесных культур использовали перечисленные далее параметры [2].

1) Запас энергии в древесине — накопленное количество энергии в древесине стволов насаждения к текущему моменту времени на единице площади, ГДж/га. Определяется экспериментально по данным, полученным на пробных площадях. Для оценки выхода энергии из товарной продукции насаждения — древесины используются конверсионные коэффициенты. Запас древесины в объемных единицах переводится в запас сухого вещества в массовом выражении, используя среднее значение базисной плотности ели для Ленинградской области 390 кг/м^3 [8]. Калорийность 1 кг древесины ели $20,3 \text{ МДж}$ [5].

2) Коэффициент полезного действия фотосинтетической активной радиации (КПД ФАР) — отношение энергии аккумулированной в фитомассе древесины на единице площади к приходу энергии ФАР на единицу площади. По данным А.Ф. Чмыра [9], для Ленинградской области за вегетационный период (со среднесуточной температурой выше 5°C) суммарная энергия ФАР, приходящая на 1 га площади поверхности земли, составляет 10097 ГДж .

3) Затраты антропогенной энергии — совокупные затраты энергии по каждой технологической операции при создании и выращивании лесных культур в том числе: семена, посадочный материал, гербициды, горюче-смазочные материалы, электроэнергия, живой труд, ма-

шины и оборудование. Методика расчета совокупных затрат энергии базируется на детальном описании всего производственного процесса на основе расчетно-технологических карт (РТК), позволяющих учесть весь поток ресурсов в разных показателях с последующим их переводом к единому показателю (Дж) с помощью энергетических эквивалентов.

5) Коэффициент энергетической эффективности выращивания лесных культур (древесины) — отношение запаса энергии в древесине к затратам антропогенной энергии (КЭЭ).

6) Коэффициент дополнительной энергетической эффективности выращивания лесных культур (древесины) — отношение запаса энергии в древесине за вычетом запаса энергии в древесине эталонных естественных насаждений, произрастающих в аналогичных условиях к затратам антропогенной энергии (КДЭЭ).

Расчет затрат энергии на создание лесных культур основан на составленных нами РТК, включающих последовательные технологические операции: подготовку площади, обработку почвы, посадку и дополнение (включая стоимость посадочного материала), агротехнические уходы [3].

Результаты и обсуждение

Повсеместно на Северо-Западе России уже более 50 лет используется технология создания культур, основанная на обработке почвы плугом ПКЛ-70 (ПЛ-1; ПКЛ-70–4; ПКЛ-70–5 и др. модификации). Такой плуг нарезает неглубокую борозду и образует два небольших пласта. Пласты неплотно прилегают к почве, вследствие своей малой мощности быстро пересыхают и зарастают травянистой растительностью. Плуг предназначен для работы на нераскорчеванных вырубках. При этом борозды получаются прерывистыми, в них скапливается вода, а у деревьев ели возникает однобокая корневая система, что ведет к ветровалу. В результате такие культуры не доживают и до 30–40 лет. Но даже в 25-летнем возрасте, когда культуры еще развиваются стабильно, показатели энергетической эффективности при использовании данной технологии наихудшие (табл. 2). На формирование древесины

Таблица 2

Энергетические показатели эффективности различных технологий создания культур ели в возрасте 25 лет

Параметры	Вариант обработки почвы					Естественный молодняк
	ПКЛ-70	Целина	Сплош- ная	ОРМ-1,5	ПШ-1	
Запас древесины «500 лучших», м ³ /га	16	24 ¹⁾	29	34 ¹⁾	52 ¹⁾	23 ²⁾
Сухое органическое вещество, т/га	6,2	9,4	11,3	13,3	20,3	9,0
Запас энергии, ГДж/га	126	191	229	270	412	182
КПД ФАР, %	0,05	0,07	0,09	0,11	0,16	0,07
Затраты антропогенной энергии, ГДж/га	19,5	19,7	27,6	14,6	24,0	—
КЭЭ	6,5	9,7	8,3	18,5	17,2	—
КДЭЭ	-2,9	0,4	1,7	6,0	9,6	—

Примечание. 1 — по данным СПбНИИЛХ [6]; 2 — по данным ЛТА [7].

500 лучших деревьев за 25 лет потрачено не более 0,05 % энергии ФАР, а коэффициент энергетической эффективности составляет 6,5. Коэффициент дополнительной энергетической эффективности вообще отрицательной, что говорит о меньшей продуктивности культур в данных условиях при использовании настоящей технологии по сравнению с естественными насаждениями. Использование такой технологии, конечно, не может быть основой интенсивного лесовыращивания и не способно обеспечить хороший рост и высокую продуктивность искусственного насаждения.

Упрощенная технология «целина», при которой обработка почвы не производится, как видно из таблицы 2, требует больших затрат антропогенной энергии в процессе создания и выращивания культур. Экономия энергии на начальном этапе создания культур создает в дальнейшем потребность в большем количестве уходов, что и увеличивает ее энергетическую стоимость. При этом КПД ФАР на формирование древесины 500 лучших деревьев

выше, чем в предыдущей технологии. Так как технология «целина» не может улучшить существующие лесорастительные условия, напрашивается вывод, что обработка почвы плугом ПКЛ-70 без предварительной корчевки ухудшает их (по крайней мере для культур ели). Однако и «целина» не имеет высоких параметров энергетической эффективности: КПД ФАР равен всего 0,07 %, а коэффициент энергетической эффективности составляет 9,7. Коэффициент дополнительной энергетической эффективности равен 0,4. Положительное значение меньше единицы говорит нам о том, что в данном случае при вложении дополнительной энергии продуктивность древостоя увеличивается, но на величину меньшую, чем затраты.

Сплошная обработка почвы дает больший выход энергии и КПД ФАР составляет уже 0,09 %. Но, в тоже время, такая операция как широкополосная корчевка (основа этой технологии) существенно повышает затраты на создание культур и снижает ее энергетическую эффективность, коэффициент которой равен 8,3 (что

меньше даже, чем для технологии «целина»). Однако, коэффициент дополнительной энергетической эффективности выше, чем у первых двух технологий — его значение чуть больше единицы. Это говорит уже хоть о небольшой, но об окупаемости вложенной энергии.

Хорошие показатели имеет так называемая «энергосберегающая» технология, где в качестве обрабатывающего почву орудия используется ОРМ-1,5. Достаточно высокий сбор энергии (270 ГДж/га) и КПД ФАР при формировании древесины 500 лучших деревьев (0,11 %), сочетаются с невысоким уровнем затрат антропогенной энергии (14,9 ГДж/га). Поэтому при использовании данной технологии наблюдается максимальный коэффициент энергетической эффективности — 18,5. Однако, следует понимать, что обработка почвы в виде дискретных микроповышений имеет ограниченный диапазон использования (на дренированных вырубках площадью не более 10 га). В противном случае возникнет необходимость в проведении дополнительных мероприятий по регулированию водного режима лесокультурной площади, изменения технологии в сторону ее удорожания и снижения энергетической эффективности данного мероприятия. Забегая вперед, надо также отметить, что хотя в данном случае коэффициент дополнительной энергетической эффективности и имеет высокое значение, он равен 6,0, но в последнем варианте при использовании плуга ПШ-1 он еще выше — 9,6.

В тех условиях, где использование описанной выше технологической схемы не обосновано, нужно производить обработку почвы с прокладкой дренирующих борозд и формированием непрерывных пластов (гряд), отодвинутых от борозды. Такую обработку почвы обеспечивает плуг шнековый ПШ-1. Для его работы необходимо провести узкополосную корчевку, в дальнейшем все работы механизированы. Как видно из таблицы, использование данной технологии дает максимальный энергетический эффект — 412 ГДж/га в 25 лет на 500 лучших стволов, обеспечивает довольно высокий КПД ФАР — 0,16 %, что в полтора раза выше, чем при использовании «энергосберегающей техноло-

гии» ОРМ-1,5 и в 2–3 раза выше остальных вариантов. Затраты энергии 24 ГДж/га чуть ниже, чем при сплошной обработке почвы с широкополосной корчевкой и выше, чем при использовании других технологий. Однако энергетический эффект, получаемый при реализации данной схемы, очень высок — показатель равен 17,2, что выше, чем у первых трех технологических схем и сопоставим с коэффициентом энергетической эффективности при использовании ОРМ-1,5. Последняя технология является наиболее интенсивной, поскольку обеспечивает низкую энергетическую себестоимость продукции и высокий коэффициент дополнительной энергетической эффективности. На каждый вложенный при создании культур 1 Дж энергии, искусственный древостой аккумулирует в древесине дополнительно 9,6 Дж энергии. Несомненно, эта технология создания культур ели должна найти применение при лесовосстановлении в таежной зоне Северо-Запада России.

Заключение

Использование технологии, в которой при создании культур в качестве почвообрабатывающего орудия применяется плуг ПКЛ-70, а корчевка лесокультурной площади не производится, снижает энергетическую эффективность лесных культур ели по сравнению с естественными древостоями. При посадке культур по целине и последующих многократных уходах, уровень энергетической эффективности лесных культур ели остается сравним с естественными древостоями. При использовании сплошной обработки почвы энергетическая эффективность увеличивается, но эффективность использования вложенной энергии остается невысокой.

Высокую энергетическую эффективность имеют технологии, где производится обработка почвы дискретными микроповышениями (ОРМ-1,5) или непрерывными грядами (ПШ-1). Значения коэффициента энергетической эффективности этих технологий довольно близки: 18,5 и 17,2 соответственно. Однако у последней технологии коэффициент дополнительной энергетической эффективности более чем в полтора раза выше. Это говорит о более эффективном использовании дополнительной энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурцев Д.С. Энергетическая эффективность создания лесных культур ели в черничных лесорастительных условиях // Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка: материалы междунар. конф. СПб: СПбГЛТА, 2010. С. 12–15.
2. Бурцев Д.С. Лесоводственная оценка и энергетическая эффективность разных технологий создания лесных культур (на примере ели в Лисинском учебно-опытном лесхозе) // Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. СПб: СПбГЛТА, 2009. 22 с.
3. Васин В.Г., Толпекин А.А., Зудилин С.Н. Энергетическая эффективность полевых агрофитоценозов в Среднем Поволжье. Самара: СГСХА. 2005. 123 с.
4. Данилов Ю.И., Бурцев Д.С. Энергетическая эффективность выращивания лесных культур ели // Известия СПбГЛТА. 2009. № 186. С. 31–39.
5. Иваск М. Изменчивость калорийности в органах ели европейской // Стабильность и продуктивность лесных экосистем: Тез. докл. всесоюзн. совещ. Тарту: Тартуский гос. университет Минвуза ЭССР. 1985. С. 52–53.
6. Маркова И.А., Шестакова Т.А., Бутенко О.Ю. и др. Лесосырьевые плантации сосны и ели // Тр. СПбНИИЛХ. Сер. «Стационарные опытные объекты». 2008. № 17. 158 с.
7. Моисеев В.С. Таксация молодняков Л.: ЛТА, 1971. 344 с.
8. Полубояринов О.И. Лесохозяйственное значение плотности выращиваемой древесины // Лесное хозяйство. 1980. № 12. С. 20–22.
9. Чмыр А.Ф. Структура и экология вторичных лиственных лесов на вырубках и их реконструкция. СПб: СПбНИИЛХ, 2002. 234 с.
10. Uotila K., Rantala J., Saksa T. et al. Effect of soil preparation method on economic result of Norway spruce regeneration chain // Silva Fennica. № 44. 2010. С. 511–524.