

ОЦЕНКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛУГ НАСАЖДЕНИЙ КАК ЗАДАЧА НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Суховольский В.Г.¹, Иванова Ю.Д.², Ковалев А.В.³

¹ Институт леса им.В.Н.Сукачева СО РАН, Красноярск,
Россия

² Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия

³ ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

Лесные экосистемы предоставляют широкий спектр экологических услуг (ЭУ) (Reyers et al., 2013; Costanza et al., 2017; Wood et al., 2018). Но хотя концепции природного капитала и ЭУ получили широкое признание, а их потенциальный вклад в более рациональное использование окружающей среды получил широкое признание, практическое применение понятия ЭУ все еще ограничено (Braat, De Groot 2012).

К ограничивающим факторам относятся: (1) непоследовательные подходы к моделированию, оценке и стоимостной оценке ЭУ; (2) затраты на применение достаточно сложных методов для адекватного ответа на вопросы; (3) отсутствие соответствующих институциональных рамок; и (4) недоверие или непонимание науки (Costanza et al., 2017).

В настоящее время при анализе ЭУ используются в основном вербальные методы и экспертные оценки (Wood et al., 2018). В связи с этим важно перейти к количественным оценкам ЭУ.

Так как ЭУ определяется характеристиками леса, то отдельная (парциальная) ЭУ должна быть некоторой функцией от определенных таксационных и экологических характеристик насаждения. Эти характеристики леса в ходе его развития существования изменяются, и из этого следует, что в количественном отношении характеристики ЭУ должны изменяться с возрастом насаждения.

В настоящей работе в качестве простого примера для количественных расчетов ЭУ будем рассматривать чистые одновозрастные сосновые насаждения, предоставляющие два вида экологических услуг: получение древесины и депонирование углерода.

Такая экологическая услуга, как получение древесины, будет определяться запасом древесины в расчете на 1 га, экологическая услуга поглощения диоксида углерода – чистой первичной продукцией насаждения (NPP).

Для этих ЭУ рассмотрим задачу достижения максимума общей их полезности.

Оценку ЭУ будем рассматривать как задачу нелинейного программирования. Пусть ЭУ1 – услуга предоставления древесины, а ЭУ2 – услуга депонирования углерода. ЭУ1 будем оценивать по запасу фитомассы X стволов насаждения, а для расчета NPP , а для расчета $NPP = Y$ будем использовать ранее развитую модель ЭкоСолоу (Soukhovolsky, Ivanova, 2018).

Общая мультипликативная полезность U экологических услуг

$$U = X \cdot Y \rightarrow \max \quad (1)$$

Балансовое уравнение, связывающее X с Y , запишем следующим образом:

$$aX + bY = C \quad (2)$$

В качестве примера рассмотрим данные по конкретному насаждению, начиная с возраста $T = 20$ лет (данные взяты из (Усольцев, 2010)). Для этих данных выражение (2) может быть представлено в следующем виде:

$$0.0053X + Y = 0.275 \quad (2a)$$

Для расчета максимума общей полезности U при данных значениях коэффициентов (2a) запишем функцию Лагранжа (Соколов, Токарев, 2011):

$$L = X \cdot Y + \lambda(0.275 - 0.0053X - Y) \quad (3)$$

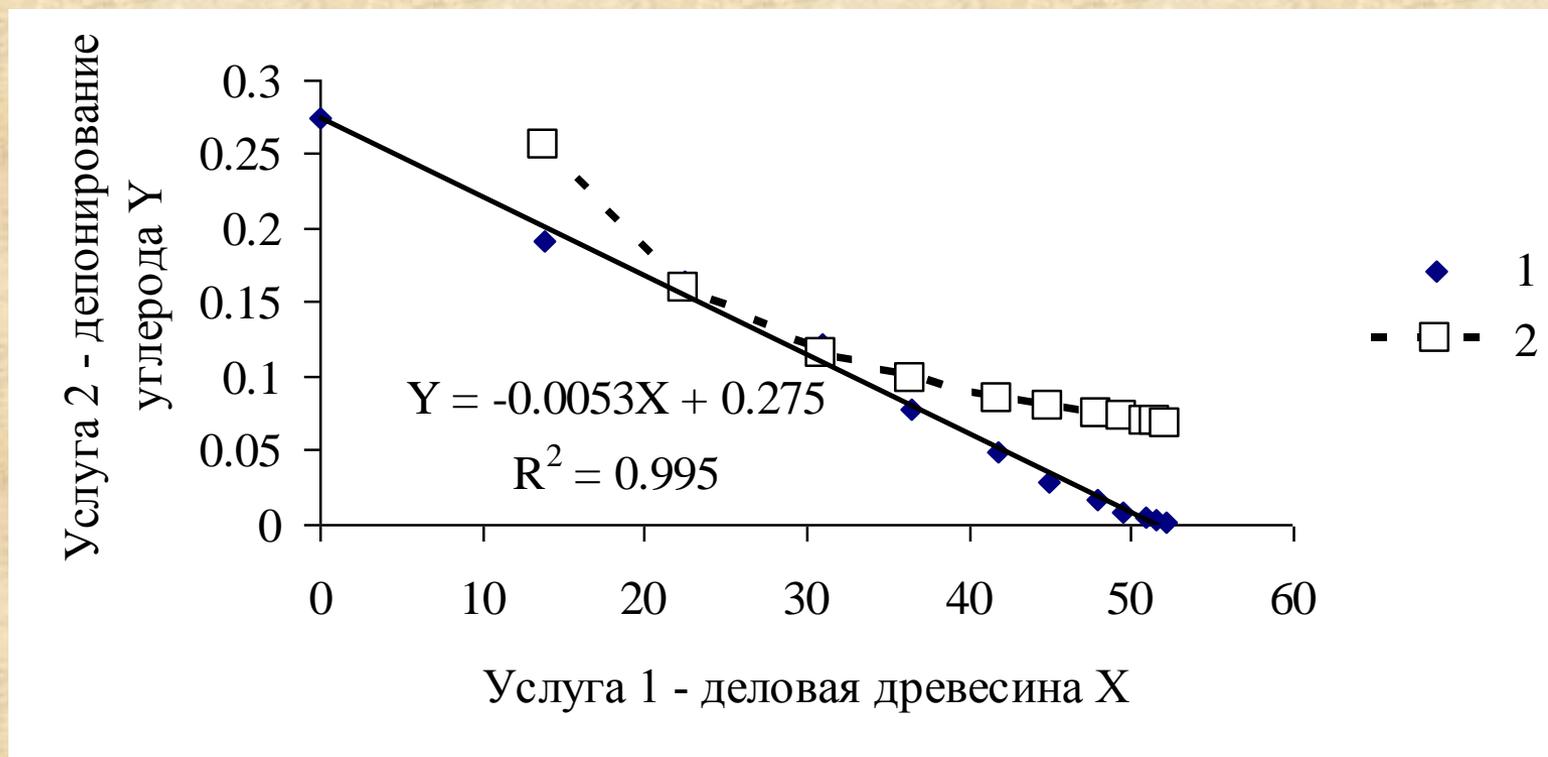
где λ - множитель Лагранжа.

Значения X и Y можно найти по решению системы (4) частных производных функции Лагранжа по переменным X , Y , λ :

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial X} = Y - \lambda \cdot 0.0053 = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial Y} = X - \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0.275 - 0.0053X - Y = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Решение системы (4) дает следующие значения ЭУ: $X = 25.94$ т га⁻¹; $Y = 0.1375$ т га⁻¹год⁻¹, максимальное значение $U = 3.57$. Графическое решение (4) представлено на рис. 1:

Графическое решение задачи нелинейного программирования. 1 – балансовое уравнение; 2 – общая полезность предоставления экологических услуг.



При этом максимум U достигается в возрасте насаждения 35 лет. Таким образом, из модели (1) – (4) следует, что для достижения максимума полезности ЭУ нужно вести плантационное лесное хозяйство с коротким оборотом рубок. Если же для выполнения ЭУ1 требуется не просто фитомасса, а древесина определенного качества (например, длина хлыстов древесины должна быть не менее h м), то это условие легко удовлетворить, введя вместо X новую переменную – нормированную высоту .

Вместо уравнения (1) можно рассматривать другие варианты расчета общей функции полезности ЭУ, например, аддитивный показатель $U_2 = X + Y$. В этом случае для решения задачи максимизации ЭУ можно будет использовать методы линейного программирования, однако в том случае значение общей полезности ЭУ будет определяться значениям максимальных по абсолютным величинам парциальных ЭУ и для учета миноритарных ЭУ необходимо будет ввести веса ЭУ. Еще одним вариантом мультипликативной функции общей полезности ЭУ для n парциальных ЭУ X_1, \dots, X_n будет использование функции полезности Стоуна с весами $\alpha_1, \dots, \alpha_n$.

$$U_3 = \prod_{i=1}^n X_i^{\alpha_i}$$

Выражение (1) представляет собой частный случай U_3 с $n = 2$ и $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

Наконец, для планирования ЭУ во времени можно использовать методы динамического программирования.

Спасибо за внимание