

ЛЕСОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ: ОЦЕНКА ЗАТРАТ

© Н.Б. Болдырева, Н.В. Жеребятьева, А.П. Девятков,
Л.Г. Решетникова, Д.В. Овечкин

Тюменский государственный университет, Тюмень

Аннотация. Одним из ключевых условий эффективной реализации климатического проекта (КП) является оценка затрат на одну углеродную единицу (УЕ), которая показывает безубыточную цену секвестрации 1 т CO₂. В статье оцениваются затраты на поглощение 1 т CO₂ при реализации КП по облесению и лесовосстановлению в условиях южной тайги. Рассмотрены четыре проектных сценария для древостоев, в состав которых входят наиболее быстро растущие в условиях южной тайги породы: сосна, береза, сочетания двух (сосна и береза) и трех (береза, осина, сосна) пород. Базовая линия строится на основании данных биологической продуктивности и хода роста южнотаежных сосняков на дерново-подзолистых почвах. Прогнозирование затрат, связанных с реализацией проектов, основывается на оценках экспертов в данной области и учитывает их рост в условиях инфляции. Рассматриваются две наиболее распространенные модели оценки затрат на одну УЕ: суммирование потоков и дисконтирование углерода. Установлено, что в условиях южной тайги смешанный древостой (сосна, береза, осина) является наиболее эффективным породным составом по секвестрационному потенциалу. Выбор модели оценки затрат также оказывает влияние на результаты расчетов, которые при прочих равных условиях зависят от принятой ставки дисконтирования. Проведена оценка чувствительности затрат к изменению ставки дисконтирования. По нашему мнению, принимая во внимание длительный срок реализации КП, модель дисконтирования углерода отражает реальное положение дел более адекватно. По данной модели затраты составили около 3 тыс. руб. за УЕ, что можно сравнить с рыночной ценой УЕ и сделать выводы о коммерческой эффективности КП по облесению и лесовосстановлению.

Ключевые слова: климатический проект, облесение и лесовосстановление, связывание углерода, южная тайга, затраты, углеродная единица

Россия видит достижение цели устойчивого развития экономики при снижении выбросов парниковых газов (далее – ПГ) через развитие технологий улавливания, захоронения и дальнейшего использования парниковых газов (carbon capture, utilization and storage – CCUS) и формирование рынка углеродных единиц [1]. Федеральные законы [2, 3] заложили основы для формирования в России нового секвестрационного бизнеса и рынка углеродных единиц. В основе бизнеса по секвестрации углерода лежит климатический проект.

Согласно [2] климатический проект представляет собой «комплекс мероприятий, обеспечивающих сокращение (предотвращение) выбросов ПГ или увеличение их поглощения». При этом КП должен отвечать совокупности критериев [4]. Учет данных критериев позволяет определить КП как совокупность мероприятий, выполнение которых приводит к сокращению

выбросов или увеличению поглощения ПГ в результате изменения условий базового сценария (базовой линии).

В России имеется высокий потенциал реализации климатических проектов в области решений, основанных на природе, в частности, лесоклиматических проектов (далее – ЛКП). Так, в России неиспользуемые сельскохозяйственные земли занимают порядка 76 млн га, 15% из которых планируется вернуть в обработку до 2030 г. [5].

Лесоклиматические проекты разнообразны. В целом, исследователи единодушны в их классификации. Существует два широких типа проектов по секвестрации углерода в лесах: 1) облесение и лесовосстановление (A&R) и 2) сохранение лесов. Сохранение лесов включает в себя: а) совершенствование управления лесами (IFM) и б) сокращение выбросов в результате обезлесения и деградации лесов (REDD+) [6, 7]. В центре нашего внимания КП по облесению и лесовосстановлению.

Зарубежными авторами опубликовано множество исследований поглощающей способности различных экосистем. Большое количество зарубежных исследований посвящено экономическому анализу возможностей облесения путем преобразования малопродуктивных сельскохозяйственных земель в плантации [8, 9, 10, 11, 12 и др.]. Однако на надежность этих результатов влияет несколько факторов, ставящих под сомнение уровень детализации расчета затрат, академическую строгость и сопоставимость цифр [13]. В последнее время наблюдается растущий интерес к таким исследованиям в приложении к экосистемам России [14, 15, 16, 17 и др.].

Однако экономические аспекты того, как меры по облесению и лесовосстановлению могут обеспечить безубыточную цену поглощения 1 т CO₂ в условиях южной тайги исследованы недостаточно.

При реализации ЛКП главный вопрос связан с оценкой затрат на 1 т CO₂, поглощенную лесом в процессе осуществления КП, что соответствует безубыточной цене углеродной единицы (далее – УЕ). Цель статьи состоит в оценке затрат на поглощение 1 т CO₂ при реализации КП по облесению и лесовосстановлению в условиях южной тайги. Для достижения цели мы оцениваем депонированный из атмосферы углерод, сравнивая проектные сценарии для разных видов насаждений в условиях южной тайги, определяем поток затрат и оцениваем затраты на одну УЕ.

Общепринятым является определение затрат на секвестрацию 1 т CO₂ как отношения общих затрат на улавливание к количеству уловленного газа. При такой оценке не учитывается дополнительная эмиссия углерода в результате потребности в энергии для работы оборудования CCUS.

Для определения общих затрат на секвестрацию углерода в результате реализации ЛКП, первоначально рассчитываются прогнозные данные по динамике составляющих углеродного баланса, формируемых лесными экосистемами. Опубликованные данные хода роста и динамики биологической продуктивности древостоев разного возраста южнотаежной подзоны Сибири и Урала [18] показывают, что в среднем продуктивность начинает снижаться в возрасте 45-50 лет, что должно отразиться и на интенсивности поглощения углерода фитомассой растений. Это определило период прогнозирования, составивший 50 лет с условного момента высадки лесных культур.

С целью выявления наиболее эффективного по секвестрационному потенциалу породного состава, с помощью прогнозных моделей для расчета

поглощения углерода лесными насаждениями, создаваемыми в результате проектной деятельности по облесению и лесовосстановлению [19, 20], рассчитываются данные по поглощению углерода с шагом один год для древостоев, в состав которых входят наиболее быстро растущие в условиях южной тайги породы: сосна, береза, сочетания двух (сосна и береза) и трех (береза, осина, сосна) пород. Все данные подбирались по таблицам для южнотаежного экорегиона Западной Сибири или наиболее близкого по лесорастительным условиям соседнего экорегиона. При выборе таблиц для внесения данных в модель учитывались: преобладающий бонитет лесонасаждений, тип почв и преобладающая полнота древостоя на территории предполагаемого ЛКП. Базовая линия (углеродный баланс без проекта) строится на основании данных биологической продуктивности и хода роста южнотаежных сосняков на дерново-подзолистых почвах.

Согласно [2] результатом КП по облесению и лесовосстановлению является увеличение поглощения ПГ в результате реализации КП. Для его оценки мы рассчитываем углеродный баланс «с проектом» (CB_t) и углеродный баланс «без проекта» (базовая линия) (CB_0). Оценка ЛКП производится сопоставлением ситуаций "без проекта" и "с проектом".

Мы вводим понятие CO₂-эффекта. CO₂-эффект за t -й год, достигнутый благодаря реализации проекта (т/га) (Y_t) рассчитывается по следующей формуле:

$$Y_t = CB_t - CB_0 \quad (1)$$

Депонированный CO₂ переводится в УЕ по правилу: 1 т CO₂ = 1 УЕ. При этом углеродные единицы образуются при условии положительного значения CO₂-эффекта, т.е. формально:

$$Y_t = \max(Y_t; 0) \quad (2)$$

Череповицына А.А. [21] отмечает зависимость затрат от конкретных условий реализации КП: модели реализации КП, технологической цепочки, стоимости капитала, оборудования, рабочей силы, электроэнергии и других составляющих. С КП связаны транзакционные затраты, формируемые заинтересованными сторонами [22].

Мы рассматриваем две наиболее распространенные модели для оценки затрат на одну УЕ, используемые в литературе: суммирование потоков и дисконтирование углерода. Суммирование потоков – простейший метод оценки затрат на одну УЕ. Он делит дисконтированные затраты на общее количество УЕ:

$$CC_s = \frac{DC}{\sum_{t=0}^n Y_t} \quad (3)$$

где CC_s – затраты на одну УЕ методом суммирования потоков;

DC – дисконтированные затраты;

Y_t – количество тонн CO₂, поглощенных за t -й год;

n – планируемый период секвестрации CO₂.

Модель дисконтирования углерода учитывает сроки как затрат, так и углеродных единиц посредством дисконтирования:

$$CC_d = \frac{DC}{DY} = \frac{DC}{\sum_{t=0}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t}} \quad (4)$$

где CC_d – затраты на одну УЕ методом дисконтирования углерода;
 DY – дисконтированный углерод;
 r – ставка дисконтирования.

Концепцию дисконтирования углерода обосновывают два аргумента:

1) будущий поглощенный CO₂ ценится меньше, чем нынешний поглощенный CO₂. Если бы будущий поглощенный CO₂ оценивался наравне с нынешним поглощенным CO₂, то наиболее экономичный вариант – отложить действие на неопределенный срок, чтобы избежать затрат на реализацию КП;

2) секвестрационный бизнес анализирует ценность поглощенного CO₂ углерода, а не сам CO₂. Если CO₂ продается в виде УЕ по мере его поглощения (связывания), то в расчетах CO₂ участвует в денежном эквиваленте.

Для экономического анализа тонны поглощенного CO₂ (углеродные единицы) дисконтируются, также как дисконтируются денежные платежи. Мы рассматриваем одинаковые ставки дисконтирования как для затрат, так и для углерода. При инвестиционном подходе ставка дисконтирования представляет собой норму прибыли на инвестиции [23].

Оценка затрат на одну УЕ для конкретного КП по модели (3) всегда будет давать меньший результат, чем оценка по модели (4) при прочих равных условиях. Разница в результатах оценки зависит от ставки дисконтирования.

Учитывая длительный жизненный цикл ЛКП, мы предполагаем, что в моделях (3) и (4) затраты на одну УЕ будут расти ежегодно с постоянным темпом прироста. Дисконтирование ежегодных затрат производится по номинальной ставке (включающей инфляционную премию):

$$DC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t \cdot (1+\tau)^t}{(1+r)^t}, \quad (5)$$

где C_t – затраты на реализацию КП в t -том году;
 τ – годовой темп прироста затрат.

Мы моделируем влияние ставки дисконтирования на затраты на одну УЕ, рассчитанные по моделям (3) и (4):

$$\frac{dCC_d/CC_d}{dr} = \frac{d \ln CC_d}{dr} = -\frac{1}{DC} \sum_{t=0}^n \frac{t \cdot C_t}{(1+r)^{t+1}} + \frac{1}{DY} \sum_{t=0}^n \frac{t \cdot Y_t}{(1+r)^{t+1}} \quad (5)$$

$$\frac{dCC_s/CC_s}{dr} = \frac{d \ln CC_s}{dr} = -\frac{1}{DC} \sum_{t=0}^n \frac{t \cdot C_t}{(1+r)^{t+1}} \quad (6)$$

Мы также моделируем влияние ставки дисконтирования на отношение (λ) затрат на одну УЕ по модели (3) к затратам на одну УЕ по модели (4):

$$\lambda = \frac{CC_d}{CC_s} = \frac{\sum_{t=0}^n Y_t}{\sum_{t=0}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t}} \quad (7)$$

$$\frac{d\lambda/\lambda}{dr} = \frac{d \ln \frac{CC_d}{CC_s}}{dr} = \frac{d \ln CC_d}{dr} - \frac{d \ln CC_s}{dr} = \frac{1}{DY} \sum_{t=0}^n \frac{t \cdot Y_t}{(1+r)^{t+1}} \quad (8)$$

В целом, формулы (5) и (6) показывают чувствительность затрат к изменению ставки дисконтирования на 1% при использовании моделей (3) и (4) соответственно. Формула (8) позволяет оценить, во сколько раз изменятся затраты на одну УЕ по модели (4) по сравнению с изменением затрат на одну УЕ по модели (3) при изменении ставки дисконтирования на 1%.

Смоделированы КП по облесению и лесовосстановлению в условиях южной тайги. Базовая линия представляет собой уровень поглощения CO₂ при естественном восстановлении лесных насаждений.

Рассматриваются четыре проектных сценария:

1. ЛКП поглощения CO₂ монокультурами сосны;
2. ЛКП поглощения CO₂ монокультурами березы;
3. ЛКП поглощения CO₂ смешанными культурами (береза, сосна);
4. ЛКП поглощения CO₂ смешанными культурами (береза, осина, сосна).

Во всех сценариях уровень поглощения CO₂ оценивается за вычетом выбросов парниковых газов от использованных машин и механизмов, а также эмиссии углерода почвой. Расчеты оценочных показателей выполнены для периода в 50 лет.

Поглощение CO₂ при различных проектных сценариях представлено на рис. 1.

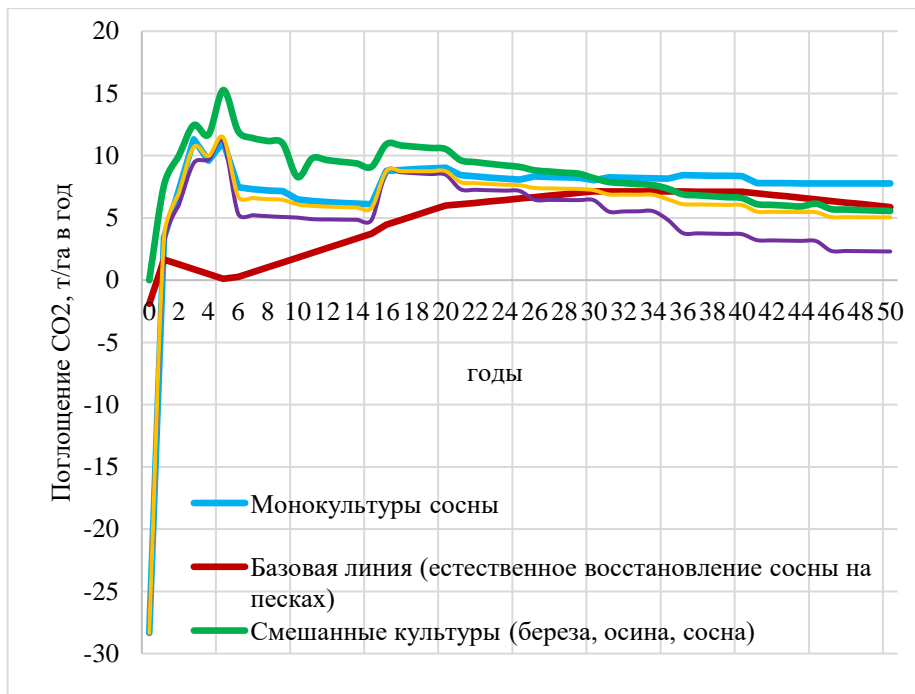


Рис. 1. Поглощение CO₂ при разных сценариях КП по облесению и лесовосстановлению в условиях южной тайги

На рис. 1 видно, что объемы поглощения CO₂ в условиях южной тайги различны для разных насаждений. Наибольшие объемы поглощения демонстрирует смешанный древостой (береза, осина, сосна).

Для оценки КП учитываются только предстоящие затраты. Исходя из особенностей ЛКП и длительного срока его реализации, имеет значение разделение затрат на единовременные и текущие. Мы прогнозируем затраты, связанные с реализацией ЛКП, используя оценки экспертов в данной области. Затраты на реализацию КП не зависят от проектного сценария (табл. 1). Все проектные сценарии не предусматривают предварительную расчистку площади от подроста малоценных пород. Единовременные затраты на реализацию КП по облесению и лесовосстановлению в начале жизненного цикла проекта (в размере 100 тыс. руб./га) предполагают аренду транспорта и наем рабочих, приобретение посадочного материала и его доставку. Текущие ежегодные затраты на обслуживание (мониторинг) плантации (10 тыс. руб./га), включающие замеры CO₂, посадку саженцев при избыточном изреживании и др., осуществляются на протяжении первых 15 лет жизненного цикла КП. Мы предполагаем, что текущие затраты растут с постоянным темпом прироста 4% в год (таргет Банка России по инфляции). Транзакционные затраты и налоги не принимаются во внимание.

Таблица 1

Затраты на реализацию КП по облесению и лесовосстановлению в условиях южной тайги при разных проектных сценариях, тыс. руб./га

Год	Единовременные затраты		Текущие затраты
	Затраты на аренду транспорта и наем рабочих	Затраты на посадочный материал и его доставку	
0	80	20	-
1	-	-	10,4
2	-	-	10,82
3	-	-	11,25
4	-	-	11,7
...
15	-	-	18,01
16	-	-	-
17	-	-	-
...
50	-	-	-

Источник: составлено на основе оценок экспертов

Результаты оценки затрат на одну УЕ при ставке дисконтирования 15% годовых представлены в таблице 2.

Таблица 2

Затраты на одну УЕ при реализации КП по облесению и лесовосстановлению (проектный сценарий – смешанные культуры (береза, осина, сосна))

Показатель	Модель оценки затрат	
	Суммирование потоков (3)	Дисконтирование углерода (4)
Приведенная стоимость единовременных затрат, тыс. руб./га	100,00	100,00
Приведенная стоимость текущих затрат, тыс. руб./га	73,62	73,62
Приведенная стоимость всех затрат, тыс. руб./га	173,62	173,62
Количество УЕ	187,74	-
Дисконтированная величина УЕ	-	58,8
Затраты на одну УЕ, тыс. руб.	0,925	2,953

Источник: рассчитано авторами

Из таблицы 2 видно, что затраты на одну УЕ по модели дисконтирования углерода (4) превышают удельные затраты по модели суммирования потоков (3) в 3,2 раза.

На рис. 2 показано влияние ставки дисконтирования на затраты на одну УЕ, рассчитанные по рассмотренным моделям. При увеличении ставки дисконтирования на 1% затраты на одну УЕ по модели дисконтирования углерода (для ставки 15%) увеличиваются на 3,05 тыс. руб., затраты на одну УЕ по модели суммирования потоков (для ставки 15%) снижаются на 2,28 тыс. руб.

При увеличении ставки дисконтирования на 1% отношение затрат на одну УЕ увеличивается в 5,33 раза.

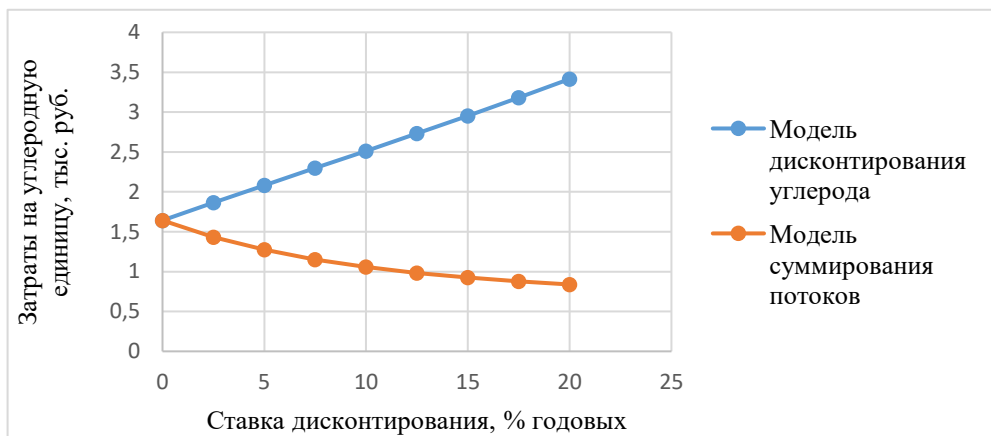


Рис. 2. Влияние ставки дисконтирования на затраты на одну УЕ по моделям дисконтирования углерода и суммирования потоков, тыс. руб.

Таким образом, на величину затрат на одну УЕ влияют различные факторы. Первооснова связана с динамикой секвестрации углерода. В результате проведенного исследования мы установили, что в условиях южной тайги смешанный древостой (береза, осина, сосна) показал лучшие результаты по поглощению CO₂.

Выбор модели оценки затрат на одну УЕ также оказывает влияние на результаты расчетов, которые при прочих равных условиях зависят от принятой ставки дисконтирования. Модель дисконтирования углерода приводит к удорожанию проекта. По нашему мнению, принимая во внимание длительный срок реализации КП, эта модель отражает реальное положение дел более адекватно. Затраты на одну УЕ по модели дисконтирования углерода составили около 3 тыс. руб. Этот результат показывает безубыточную цену УЕ, позволяет сравнивать ее с рыночной ценой УЕ и делать выводы о коммерческой эффективности климатического проекта по облесению и лесовосстановлению.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-02032, <https://rscf.ru/project/22-28-02032/>.

Литература

1. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (утв. Распоряжением Правительства РФ от 29.10. 2021 № 3052-р). Компьютерная справочная правовая система КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/ (дата обращения: 15.06.2023). Текст : электронный.
2. Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 № 296-ФЗ. - Компьютерная справочная правовая система КонсультантПлюс - URL:

- https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388992/ (дата обращения: 15.06.2023). - Текст : электронный.
3. Федеральный закон «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации» от 06.03.2022 № 34-ФЗ. - Компьютерная справочная правовая система КонсультантПлюс - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411051/ (дата обращения: 15.06.2023). Текст : электронный.
 4. Приказ Минэкономразвития России от 11.05.2022 г. № 248 «Об утверждении критериев и порядка отнесения проектов, реализуемых юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями или физическими лицами, к климатическим проектам, формы и порядка представления отчета о реализации климатического проекта (Зарегистрировано в Минюсте России 30.05.2022 № 68642). - Компьютерная справочная правовая система КонсультантПлюс - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_418257/ (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
 5. Реализация лесоклиматических проектов в рамках добровольных и национальных СТВ. - АО «КПИГ», 2022. 23 с. URL: <http://www.igce.ru/wp-content/uploads/2022/07/Лукин-Реализация-лесо-климатических-проектов-в-рамках-добровольных-и-национальных-СТВ-.pdf> (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
 6. Grafton R.Q., Chu H.L., Nelson H., Bonniss G. A global analysis of the cost-efficiency of forest carbon sequestration. A Global Analysis of the Cost-Efficiency of Forest Carbon Sequestration. OECD Environment Working Papers No. 185. doi:10.1787/e4d45973-en - ENV/WKP(2021)17. 67 p. URL: <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Cost%20Efficiency%20of%20Forest%20Carbon%20Sequestration.pdf> (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
 7. Коротков В.Н. Лесные климатические проекты в России: ограничения и возможности // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. Vol. 7 (4). URL: <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-4-3>. (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
 8. Richards K.R., Stokes C. A Review of Forest Carbon Sequestration Cost Studies: A Dozen Years of Research March 2004 Climatic Change 63(1):1-48. DOI:10.1023/B:CLIM.0000018503.10080.89/_ (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
 9. Friedmann S.J., Zhiyuan F., Zachary B., Ochu E., Bhardwaj, and Sheerazi H. Levelized cost of carbon abatement: an improved cost-assessment methodology for a net-zero emissions world. Columbia University Cgep. october 2020. DOI:10.1080/14693062.2019.1634508/_____ URL: https://www.eesi.org/files/levelized_cost_of_carbon_abatement.pdf (дата обращения: 15.06.2023). Текст : электронный.
 10. Baker E.D., Khatami S.N. The levelized cost of carbon: a practical, if imperfect, method to compare CO2 abatement projects. July 2019. Climate Policy 19(9):1-12. DOI: 10.1080/14693062.2019.1634508_ (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
 11. Rubin E.S., Davison J.E., Herzog H.J. The cost of CO2 capture and storage. International Journal of Greenhouse Gas Control 40 (2015) 378–400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.05.018>. URL: <https://cedmcenter.org/wp-content/uploads/2017/10/The-cost-of-CO2-capture-and-storage.pdf>. (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
 12. Mei B., Clutter M.L. Benefit-cost analysis of forest carbon for landowners: An illustration based on a southern pine plantation. Front. For. Glob. Change. 022. Volume 5:931504. doi: 10.3389/ffgc.2022.931504. URL: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.931504>. (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.

13. Boyland M. The economics of using forests to increase carbon storage. *Canadian Journal of Forest Research*. 2206. 36(9), 2223–2234. doi:10.1139/x06-094. (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
14. Морковина С.С., Панявина Е.А., Зиновьева И.С. Управление реализацией лесоклиматических проектов в РФ: перспективы и риски // *Международный журнал. Естественно-гуманитарные исследования*. 2022. №40 (2). с. 198-203 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-realizatsiey-lesoklimaticheskikh-proektov-v-rf-perspektivy-i-riski>. (дата обращения: 15.06.2023). Текст : электронный.
15. Назаренко А.Е., Краснаярова Б.А. Стоимостная оценка экосистемных услуг по депонированию углерода экосистемами Алтайского края как составляющая перехода к устойчивому развитию // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. Том 4 (14). Вып. 3. 2018 г. С. 89–99. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stoimostnaya-otsenka-ekosistemnyh-uslug-po-deponirovaniyu-ugleroda-ekosistemami-altayskogo-kraya-kak-sostavlyayuschaya-perehoda-k> (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
16. Крук М.Н., Корельский Д.С. Критерии оценки и выбора природоохранных проектов секвестрации // *Российский экономический интернет-журнал*. 2019. - № 4. с. 83. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42631338>. (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
17. Фоменко М.А., Лошадкин К.А., Климов Е.В., Липка О.Н., Коротков В.Н., Алдошина А.В. Лесные климатические проекты: возможности и проблемы реализации esg-подхода. Часть 1 DOI: 10.24412/1728-323X-2022-2-91-106. (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
18. Shvidenko, A.Z., Schepaschenko D.G., Nilson S., Buluys Y.I. *Tables and Models of Growth and Biological Productivity of Plantations of the Main Forest-Forming Species of Northern Eurasia (Regulatory and Reference Materials)*, 2nd ed.; Rosleskhoz, International Institute for Applied Systems Analysis: Moscow, Russia, 2008.
19. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н.* Региональная оценка бюджета углерода лесов (РОБУЛ). Версия 1.1. М.: ЦЭПЛ РАН, 2011. URL: www.cepl.rssi.ru/regional.htm (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
20. Расчет поглощения углерода лесными насаждениями, создаваемыми в результате проектной деятельности по облесению и лесовосстановлению, Программное обеспечение. Версия 1.0, ЦЭПЛ РАН, 2009. - URL: <http://old.cepl.rssi.ru/local.htm> (дата обращения: 15.06.2023). - Текст: электронный.
21. Череповицына А.А. Секвестрация углекислого газа: базовые подходы к оценке затрат // *Сборник докладов. XII международный форум Экология*. 23-24 мая 2022. Москва, Центр международной торговли, с. 198-210. URL: <https://burondt.ru/files/publishing/publishingfile118.pdf> (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.
22. Болдырева Н.Б., Решетникова Л.Г. Климатический проект по секвестрации углерода: заинтересованные стороны и риски. // *Роль управления рисками и страхования в обеспечении устойчивости общества и экономики: сборник трудов XXIV Международной научно-практической конференции (г. Москва, 1 июня 2023 г.)* / отв. ред. Е.В. Злобин, И.Б. Котлововский. М.: МГУ, 2023. С. 158-163.
23. Arrow, K., Cropper, M., Gollier, C., Groom, B., Heal, G., Newell, R., Weitzman, M. Determining Benefits and Costs for Future Generations. *Science*. 2013. 341(6144), 349–350. doi:10.1126/science.1235665 (дата обращения: 15.06.2023). Текст: электронный.

FOREST-CLIMATIC PROJECTS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN TAIGA: COSTS ESTIMATION

© N.B. Boldyreva, N.V. Zherebyateva, A.P. Devyatkov,
L.G. Reshetnikova, D.V. Ovechkin
Tyumen State University, Tyumen

Abstract. One of the key conditions for the effective implementation of a climate project (CP) is the assessment of costs per carbon unit (CU), which shows the breakeven price of sequestering 1 ton of CO₂. The article estimates the costs of sequestration of 1 ton of CO₂ during the implementation of the CP for afforestation and reforestation in the conditions of the southern taiga. Four design scenarios for forest stands are considered, which include the fastest growing species in the southern taiga: pine, birch, combinations of two (pine and birch) and three (birch, aspen, pine) species. The baseline is constructed on the basis of data on biological productivity and the course of growth of southern taiga pine forests on soddy-podzolic soils. Forecasting the costs associated with the implementation of projects is based on the estimates of experts in the field and takes into account their growth in terms of inflation. The two most common models for estimating costs per unit are considered: flow summation and carbon discounting. It has been established that in the conditions of the southern taiga, a mixed forest stand (pine, birch, aspen) is the most effective species composition in terms of sequestration potential. The choice of the cost estimation model also affects the calculation results, which, other things being equal, depend on the accepted discount rate. The sensitivity of costs to changes in the discount rate was assessed. In our opinion, considering the long period of implementation of the CP, the carbon discounting model reflects the reality more adequately. According to this model, the costs amounted to about 3 thousand rubles per CU, which can be compared with the market price of CU and draw conclusions about the commercial effectiveness of the CP for afforestation and reforestation.

Keywords: climate project, afforestation and reforestation, carbon sequestration, southern taiga, costs, carbon unit