

УДК 336.67

Экономическая эффективность климатических проектов: традиционный и темпоральный подходы¹

Горбачева Н.В.

Природные офсеты широко используются в мировой практике для выпуска углеродных единиц, позволяющих эмитентам компенсировать величину выбросов парниковых газов в рамках добровольного и обязательного углеродного регулирования. Несмотря на их популярность, цены остаются весьма волатильными из-за несовершенств этого инструмента: непостоянства поглощения, непродолжительности аккумуляции, высоких рисков двойного учета и перепродаж, низкой достоверности верификации, занижения базовой линии и завышения эффектов дополнительности. Совершенствование методологий оценки климатических проектов призвано восполнить эти недостатки. Цель статьи – апробировать темпоральный подход к экономической оценке климатических проектов на основе использования физического концепта жизненного цикла эмиссии тонны двуокиси углерода и экономического концепта дисконтирования. Темпоральный подход апробирован на примере оценки пилотных проектов карбоновых полигонов России. Результаты исследования показали, что в теоретическом плане имеются противоречия между традиционным и темпоральными подходами, некоторые из которых можно снять корректировкой расчетных способов, но фундаментальные разногласия требуют нормативного обоснования. На практике значимость краткосрочных природных офсетов сохраняется, хотя для нового поколения углеродных рынков требуется разработка гибридных подходов на основе синтеза традиционных и темпоральных способов оценки климатических инициатив.

¹ Автор выражает благодарность чл.-кор. РАН С.К. Гулеву за инициативу проведения предварительного экономического анализа пилотных «карбоновых ферм». Этот анализ послужил важным фактором для начала полноценного научного исследования, положенного в основу данной статьи, в частности выполнения работ по Государственному заданию 5.6.3.2. (FWZF-2024-0001) «Экспертно-аналитические, организационные и методические составляющие системы индикативного планирования научно-технологического и сбалансированного пространственного развития России при реализации крупных инвестиционных проектов». Автор признателен рецензенту статьи, при ответе на комментарии которого удалось прояснить важные положения.

Горбачева Наталья Викторовна – к.э.н., ведущий научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН, доцент Сибирского института управления – филиала РАНХиГС. E-mail: gorbacheva-nv@ranepa.ru

Статья поступила: 12.02.2024/Статья принята: 07.11.2024.

Ключевые слова: изменение климата; углеродные офсеты; климатические проекты; методология; темпоральный подход; дисконтирование; карбоновые полигоны России.

DOI: 10.17323/1813-8691-2024-28-4-587-614

Для цитирования: Горбачева Н.В. Экономическая эффективность климатических проектов: традиционный и темпоральный подходы. *Экономический журнал ВШЭ*. 2024; 28(4): 587–614.

For citation: Gorbacheva N.V. Economic Efficiency of Climatic Projects: Conventional and Temporal Approaches. *HSE Economic Journal*. 2024; 28(4): 587–614. (In Russ.)

1. Введение

Углеродное ценообразование признается эффективным механизмом экономической борьбы с изменением климата, при этом *природные офсеты*², согласно данным Всемирного банка, остаются самым популярным в мире инструментом для выпуска сертифицированных углеродных единиц (УЕ) [Carbon Pricing Dashboard, 2024]. Их важность продиктована, по крайней мере, двумя обстоятельствами. Во-первых, несмотря на антропогенную причину современного климатического кризиса, природные перетоки составляют 95% годового углеродного цикла, от которого зависит достижение стабилизации температурного режима. При незначительном вмешательстве в природу можно добиться масштабных эффектов. Во-вторых, природа обладает колоссальным запасом углерода (океан – 38000 Гт, биосфера – 2300 Гт), и выброс в атмосферу даже его небольшого объема, например вследствие пожаров, таяния вечной мерзлоты, может быстро перекрыть «тепловой эффект» ежегодной антропогенной эмиссии (11,9 Гт).

Природные офсеты преимущественно обращаются на добровольных углеродных рынках, хотя иногда используются в рамках обязательного углеродного регулирования, например в США (Калифорния), Южной Корее, Сингапуре.

Добровольные углеродные рынки не регулируются государством, а организованы международными институтами (например, REDD+ под эгидой Межправительственной группы экспертов по изменению климата), неправительственными организациями (Gold Standard, Plan Vivo и др.), которые разрабатывают свои методологии оценки климатических проектов и программ, ведут реестры выпуска и зачета углеродных единиц. Помимо природных офсетов на этих рынках обращаются так называемые авиационные офсеты, выпущенные для компенсации углеродного следа авиаперевозок в рамках международной программы CORSIA, а также разнообразные технологические офсеты (например, проекты ВИЭ по предотвращению эмиссии парниковых газов (ПГ), низкоуглеродные технологии в строительстве и др.). Несмотря на еще незначительную емкость, это динамичный, быстроразвивающийся рынок с ежегодным удвоением темпа роста торговли. Размер этих рынков сильно варьируется из-за разницы в методологии и охвате их оценки. Так, сог-

² В статье понятия «углеродный кредит» и «углеродный офсет» используются как синонимы. Но их следует различать, поскольку углеродные кредиты могут быть использованы для отличных от целей компенсации охвата 1, 2, 3 эмиссии парниковых газов компании; в то же время углеродные офсеты могут быть реализованы не только в рамках обращения углеродных кредитов.

ласно [Institute of International Finance, 2024] добровольные рынки покрывают 9% ежегодной эмиссии корпораций, в то же время Ecosystem Marketplace³ оценивает этот рынок в размере кумулятивного выпуска 2,4 Gt CO₂e в 2023 г. Вероятно, подлинный масштаб добровольных рынков гораздо скромнее, поскольку далеко не весь объем выпущенных УЕ направляется на погашение взятых на себя обязательств компаний с целью компенсации выбросов ПГ. Часть покупателей приобретают и удерживают УЕ в качестве актива без списания для компенсации выбросов ПГ. Наиболее близки к реальности, пожалуй, оценки MSCI⁴, которые фиксируют кумулятивный объем прямых продаж, т.е. без учета перепродаж посредников и вторичного обращения УЕ, в размере около 0,4 Gt CO₂e в 2023 г. По мере того как все больше частных компаний будут внедрять корпоративные стратегии «чистых нулевых выбросов» или «углеродной нейтральности», объем добровольного рынка, по прогнозам [Institute of International Finance, 2024], вырастет до 23–28% ежегодной эмиссии парниковых газов, а его капитализация превысит 3 трлн долл. к 2030 г.

Цена углеродного кредита, долл.

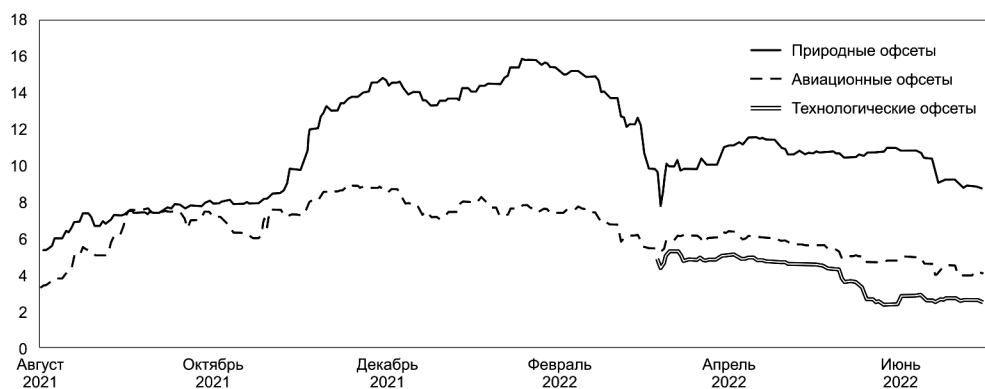


Рис. 1. Средневзвешенная цена 1 т CO₂e на добровольных углеродных рынках в 2021–2022 гг., долл. США

Источник: Institute of International Finance, 2024.

Обязательные углеродные рынки охватывают около 20% ежегодной эмиссии ПГ (или 9,9 Gt CO₂e⁵), и по мере того как все больше государств будут внедрять углеродный налог и систему торговли квотами, объем этих рынков, по прогнозам [Institute of International Finance, 2024], также возрастет до 47% ежегодной эмиссии парниковых газов к 2030 г.

Стоит отметить, размер обязательных и добровольных углеродных рынков, строго говоря, напрямую нельзя сопоставлять, поскольку они имеют разные метрики. Масштаб обязательных рынков определяется совокупным объемом эмиссии ПГ всех компаний, попадающих под действие закона об углеродном регулировании. Масштаб добровольных

³ State of the Voluntary Carbon Market 2024. (<https://www.ecosystemmarketplace.com/publications/2024-state-of-the-voluntary-carbon-markets-sovcml/>)

⁴ Trove Research, 2024. (<https://www.msci.com/our-solutions/climate-investing/carbon-markets>)

⁵ ICAP, 2024. Emissions Trading Worldwide: Status Report 2024. Berlin: International Carbon Action Partnership. (https://icapcarbonaction.com/system/files/document/240522_report_final.pdf)

рынков измеряется первичными продажами углеродных кредитов, которые фиксируют только сальдо сокращенного или поглощенного объема ПГ, а не совокупный объем эмиссии кредитуемого предприятия.

В обоих случаях природные офсеты позволяют эмитентам уравновесить величину выбросов парниковых газов, хотя и для разных целей. В первом случае это добровольное стремление предприятий к нейтрализации углеродного следа своей продукции или услуг, а в рамках обязательного углеродного регулирования офсеты востребованы для компенсации доли эмиссии сверх установленных государством квот.

Основная экономическая проблема при доминировании природных офсетов состоит в высокой неопределенности цен из-за непостоянства аккумуляирования углерода в природных экосистемах (лес, почва, водно-болотные угодья и др.).

За последние два года цена природных офсетов значительно снизилась: например, на торговой площадке Xraptive спотовые цены упали с 15 долл. за тонну CO₂ в 2021 г. до 10 центов в 2023 г. [VSMI, 2023]. Более того, в 2023 г. впервые за двадцатилетнюю историю существования углеродных рынков произошла крупная дискредитация мегапроекта «Кариба» международного верификатора Verge, что, вероятно, приведет к списанию «некачественных углеродных единиц» и соответствующего изъятия до 38–51% страхового покрытия верификатора. Если число таких неудач возрастет, то наличие буферного пула уже не спасет от банкротства. Несовершенства этого инструмента – непостоянство поглощения, непродолжительность аккумуляции, высокие риски двойного учета и перепродаж, низкая достоверность верификации, занижение «базовой линии» и завышение эффектов дополненности и др. – хорошо известны экономистам. Эти недостатки вызывают справедливые сомнения в обоснованности их экономической эффективности в борьбе с изменением климата. Становятся востребованными разработка и тестирование альтернативных подходов к оценке климатических проектов для определения справедливой стоимости природных офсетов.

Для России эта проблема особенно актуальна. Россия, обладая пространственными и уникальными экосистемами [Эдельгериев и др., 2021; Сафонов и др., 2022], отдает приоритет реализации природно-климатических решений в рамках принятой в 2021 г. Стратегии низкоуглеродного развития⁶, согласно которой планируется нарастить поглощение парниковых газов с 535 до 1200 млн т CO₂e к 2050 г., чтобы уже к 2060 г. достичь углеродной нейтральности. В помощь субъектам климатических проектов для инвесторов подготовлены специальные калькуляторы в «лесоклиматические единицы» [Кузнецов, Стеценко, Никишова, 2022]; выпущены карты регионов России с экономической оценкой потенциала для реализации лесоклиматических проектов [Ваганов, Пыжев, Курбатова, 2023; Оценка потоков парниковых газов, 2023]; созданы методики на основе принятой в РФ системы подходов и методического обеспечения реализации климатических проектов [ГОСТ Р ИСО 14080-2021; Сорокина, Птичников, Романовская, 2023]; разработаны детализированные методологии их оценки⁷, которые прошли общественное обсуждения.

⁶ Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 № 3052-р. Официальный интернет-портал правовой информации. (<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022>) (Дата обращения: 11.01.2024).

⁷ Реестр углеродных единиц Российской Федерации. Методологии климатических проектов. (https://carbonreg.ru/ru/methodology/accepted_methodologies/) (Дата обращения: 11.01.2024).

Центры валидации и верификации (табл. 1), зарегистрированные в Федеральной службе по аккредитации (Росаккредитации), уже провели валидацию первых климатических проектов. Так, проект Поронайского лесничества Сахалинской области, предполагающий выпуск 1,5 млн УЕ до 2102 г., получил положительное заключение⁸. Периодически на Московской бирже (Мосбирже) проводятся товарные аукционы по продаже УЕ, цены на которые пока снижаются. В сентябре 2022 г. на Мосбирже был проведен первый товарный аукцион по продаже 20 УЕ на общую сумму 20 тыс. руб., а в ноябре 2023 г. было реализовано 2735 УЕ на 1914,5 тыс. руб. [Информация об общем количестве договоров, 2022–2023].

Таблица 1.

**Реестр аккредитованных организаций по валидации
и верификации парниковых газов в России, 2022–2023 гг.**

Организация	Регион	2022 г.	2023 г.	Область аккредитации
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства	Санкт-Петербург	+	+	Верификация. Лесохозяйственная деятельность
Русатом Инфраструктурные решения	Москва	+	+	Валидация. Энергетика
Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия	Москва	+	+	Верификация. Энергетика
Атомэнергопроект	Москва	+	+	Верификация. Животноводство
НЭС Профэксперт	Татарстан	+	+	Верификация. Энергетика
Наносертифика	Москва	+	–	Верификация. Промышленность
ПРОММАШ ТЕСТ Экология	Санкт-Петербург	+	–	Верификация. Промышленность
Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля	Москва	+	–	Верификация. Растениеводство и животноводство
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	Москва	+	+	Верификация. Сельское хозяйство
Университет Иннополис	Татарстан	+	+	Валидация. Энергетика
Центр лабораторного анализа и технических измерений по Сибирскому федеральному округу	Новосибирск	+	+	Верификация. Растениеводство и животноводство

⁸ Отчет о валидации Исследовательского центра «Карбоновый полигон НГУ». (<https://carbonreg.ru/projects/8/>) (Дата обращения: 11.01.2024).

Окончание табл. 1.

Организация	Регион	2022 г.	2023 г.	Область аккредитации
Российский университет дружбы народов	Москва	+	+	Верификация. Металлургия
ВНИИГАЗ-Сертификат	Московская обл.	+	+	Валидация. Энергетика
Уфимский государственный нефтяной технический университет	Республика Башкортостан	-	+	Валидация и верификация
Национальный центр валидации и верификации экологической информации Института глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля	Москва	-	+	Валидация и верификация
РЭА Минэнерго России	Москва	-	+	Валидация и верификация
Союзэкспертиза Торгово-промышленной палаты РФ	Москва	-	+	Валидация и верификация (добыча нефти и попутного газа)
Российский университет транспорта (МИИТ)	Москва	-	+	Валидация и верификация (деятельность железнодорожного транспорта)
Новосибирский государственный университет	Новосибирск	-	+	Валидация (сельское хозяйство, лесоводство, лесозаготовка)
Координационно-информационный центр государств-участников СНГ по сближению регуляторных практик	Москва	-	+	Валидация и верификация (производство органических и неорганических химических веществ)
Союз защиты экологических прав населения Московской обл.	Московская обл.	-	+	Валидация и верификация

Примечание: + обозначает активный статус; - обозначает прекращение деятельности организации.

Источник: Национальная система аккредитации, реестр аккредитованных лиц, 2023 г.

Несмотря на многообразие, все инициативы при оценке климатических проектов используют, как правило, традиционный подход, предполагающий осреднение дополнительного поглощения за 100 лет, которое было бы невозможно без дополнительных финансовых и управленческих усилий по реализации климатического проекта.

Цель статьи: апробировать альтернативный – темпоральный – подход к экономической оценке эффективности климатических проектов. Предлагается использовать физический концепт жизненного цикла эмиссии одной тонны двуокиси углерода и экономический концепт дисконтирования, учитывающий фактор времени при оценке стоимости поглощения и аккумуляции тонны двуокиси углерода благодаря реализации природно-климатических проектов. Новизна темпорального подхода состоит в учете разновременности проявления выгод и издержек, а также эффектов поглощения и эмиссии CO₂. Апробация методологии оценки проведена на примере функционирования экспериментальных площадок – карбоновых полигонов Российской Федерации⁹.

2. Традиционный подход в оценке экономической эффективности климатических проектов

Экономический результат реализации климатических проектов состоит, прежде всего, в выпуске углеродных кредитов или углеродных офсетов, представляющих торгуемые объемы предотвращения или сокращения эмиссии, а также увеличения поглощения тонн CO₂, когда один контрагент может приобрести их у другого для компенсации своих «чистых»¹⁰ выбросов двуокиси углерода для достижения углеродной нейтральности.

Ключевая особенность традиционного подхода состоит в обосновании дополнительной климатических проектов. Концепт дополнительной предполагает, что инициатору климатического проекта не нужно вносить экстраплатежи за результат, который был бы достигнут в любом случае, т.е. при осуществлении привычной экономической деятельности (базовый сценарий, BAU – business as usual), а цель выпуска углеродных кредитов состоит именно в поддержке инициатив, продуцирующих эффекты сверх «базовой линии» климатического проекта. Согласно ГОСТ Р ИСО 14080-2021, базовый сценарий – это «сценарий развития ситуации, при котором рост населения и промышленного производства, а также выбросов парниковых газов осуществляется теми же темпами, как и сейчас». Эффекты дополнительной в соответствии с российской методологией реализации климатических проектов должны быть продемонстрированы «с помощью достоверной оценки, которая показывает, что деятельность не была бы осуществлена в отсутствие стимулов со стороны проекта, с учетом всех соответствующих национальных нормативных и законодательных актов» [Руководство № 001, 2023].

В действительности определение дополнительной во многом зависит от характера климатического проекта и методического подхода к его оценке [Gillenwater, 2012]. Например, для проекта лесонасаждений (afforestation) базовый сценарий определяется весьма просто: это ситуация, когда участок не покрыт и не будет покрыт лесным массивом без целенаправленного вмешательства. Хотя для проекта снижения воздействия лесозаготовок (harvest deferral) дополнительность возникает «за счет перехода от обычного ведения лесозаготовок к сниженному воздействию во время заготовки древесины. Запасы углерода могут быть увеличены за счет методов, приводящих к уменьшению нарушения подроста, почвенного покрова и подстилки» [Методология реализации климатиче-

⁹ Карбоновые полигоны Российской Федерации. (<https://carbon-polygons.ru/>) (Дата обращения: 11.01.2024).

¹⁰ Чистые выбросы (net emission) представляют собой сальдо эмиссии за вычетом поглощения ПГ.

ского проекта № 0012, 2023]. С точки зрения другого подхода дополнительность при лесозаготовке будет определяться продлением отсрочки вырубki леса, выросшего в результате вмешательства [Scandinavian Forest Economics, 2020].

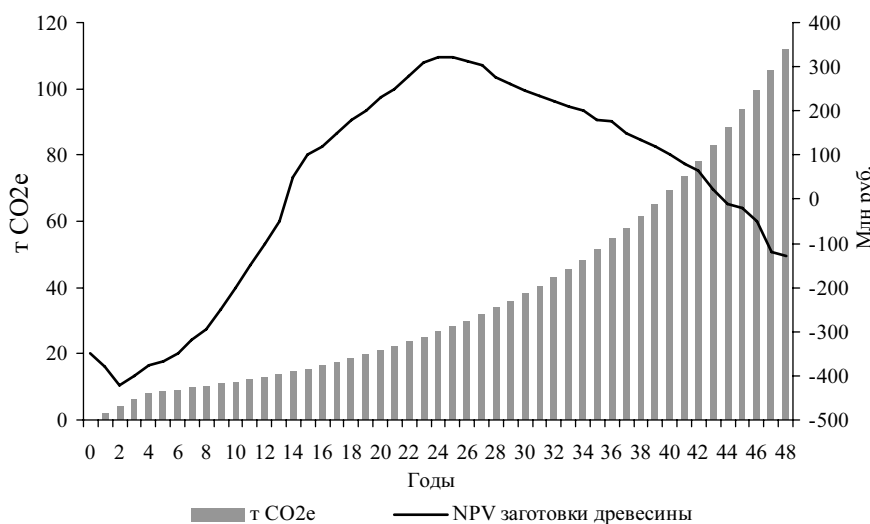


Рис. 2. Динамика доходности лесозаготовки и накопленных тонн CO_{2e} на участке (условный пример)

Для лесозаготовителя не возникает эффект дополнительности в течение первых 25 лет, по мере роста деревьев и объема древесины (рис. 2). Лесозаготовитель, при прочих равных условиях, заинтересован в реализации без эстраплатежей лесоклиматического проекта до момента максимизации рыночной стоимости выращенной древесины (NPV максимальный), а вот с 25-го года у него возникает эффект дополнительности в результате секвестрации и аккумуляции накопленного углерода в биомассе взамен отсрочки рубки. Для того чтобы компенсировать инициатору лесоклиматического проекта упущенные выгоды из-за снижения доходности заготовки древесины, начиная с 25-го года целесообразно вводить углеродный офсет в размере выпадающих доходов.

Традиционный подход (*ex ante*) предполагает оценку долгосрочного, т.е. столетнего, периода приращения секвестрации CO₂, которая была бы невозможна без дополнительных финансовых и управленческих усилий по реализации климатического проекта. Сравнение характеристик проекта для двух сценариев – с учетом и без учета проектной деятельности на участке – позволяет оценить дополнительность.

$$(1) \quad \Delta = \rho(1-u) \sum_{n=1}^N (\Delta_{base,i} - \Delta_{project,i}),$$

где Δ – приращение УЕ (т CO₂); $\Delta_{base,i}$ – изменение эмиссии согласно базовому сценарию, т.е. без учета проектной деятельности, (т CO₂) для i -го участка; $\Delta_{project,i}$ – изменение

эмиссии согласно проектному сценарию ($t \text{ CO}_2$) для i -го участка; u – фактор «углеродной утечки» (как правило, 20%); ρ – фактор неопределенности.

Согласно традиционному подходу происходит предварительная (*ax ante*) проекция изменений эмиссии и поглощения на период в 100 лет ($t \text{ CO}_2e$), валидация референтных характеристик в начале реализации проекта; затем каждые 5–10–15 лет – верификация для подтверждения сертифицированных тонн CO_2e , подлежащих продаже на добровольных углеродных рынках. Неопределенность, связанная с возможными потерями и углеродными утечками (например, вследствие пожаров, нецелевого использования участка), учитывается благодаря созданию страхового покрытия и буферных пулов, которые не могут быть проданы. Выпуск углеродных кредитов предполагает, что участок должен быть законтрактован, т.е. должен измеряться, мониториться и верифицироваться (так называемые MRV) на протяжении 100 лет. В России, например по проектам лесовосстановления, необходимо предоставить гарантии, что «результаты проекта сохраняются в течение 100 лет» для минимизации рисков непостоянства [Методология реализации климатического проекта № 0010, 2023]; в противном случае предлагается вводить дисконт в размере 3–15% объема «выписанных» углеродных единиц. Чтобы снизить риск двойного учета и перепродаж, вводится заверение, что результаты проекта «не будут отчуждены третьим лицам и не будут обременены правами третьих лиц в течение срока реализации климатического проекта»¹¹.

Помимо верхнеуровневого формирования норм и стандартов оценки отдельные методологии разрабатываются конкретными верификаторами с учетом нюансов расчетов, региональных особенностей, специфики конкретных проектов. За десятилетия в помощь инициаторам проектов разработаны разнообразные методички и всевозможные «карбоновые калькуляторы» в виде Excel-таблиц. Так, для лесоклиматических проектов распространенная в России зарубежная методология международной компании *Verra* базируется на предварительной оценке изменений ПГ в течение 100 лет в рамках базового сценария и изменений ПГ в случае продления жизненного цикла лесной плантации, и сальдо двух потоков ПГ служит основой для выпуска офсетов [VM0003 Methodology, 2023]. Для небольших агроклиматических проектов (ежегодное поглощение менее 10000 т $\text{CO}_2/\text{год}$) международный верификатор *Plan Vivo* разработал специальную методичку для организации опосредованной валидации и верификации эффекта дополнительной [SHAMBA Tool, 2023]. Для первой в мире аквафермы *Mikoko Pamoja* в бухте Гази (Кения) *Plan Vivo* подготовили методичку для разработки дизайн-проекта подобного рода инициатив [Plan Vivo, 2020]. При оценке восстановления болотных систем и торфяников другой международный верификатор *Peatland Code* делает акцент на выполнении финансовой дополнительной¹² проекта за счет грантов, региональных субсидий, правительственных субвенций, которые обеспечивают стартовую поддержку проекта (до 30–40% первоначальных инвестиций), а выпуск углеродных офсетов призван повысить коммерческую привлекатель-

¹¹ Проект постановления Правительства Российской Федерации о правилах создания и ведения реестра углеродных единиц. Дата 20.10.2023. (<https://regulation.gov.ru/projects#npr=142902>)

¹² Финансовая дополнительность определяется при сравнении проекта с учетом выпуска UE и без учета этих продаж. На практике это сводится к расчету хорошо известного показателя – чистого дисконтированного дохода (NPV); если без выпуска углеродных единиц $NPV < 0$, а с учетом их продажи NPV проекта меняет свой знак и становится положительным, $NPV > 0$, то возникает финансовая дополнительность от реализации углеродных кредитов.

ность долгосрочного поддержания функционирования болотных систем [Peatland Code, 2022].

Традиционный подход оценки дополнительной весьма затратен. По оценкам Организации экономического сотрудничества и развития, трансакционные издержки, связанные с подготовкой дизайна проекта, верификацией, валидацией, страховкой, регулярным аудитом, достигают 41–89% от общих затрат проекта [Grafton et al., 2021]. Расходы на услуги по дистанционному мониторингу и верификации УЕ могут достигать до 7–10 тыс. руб. в месяц; например, в Дании верификатор Agreena запрашивает до 100 евро в месяц для проведения цифровых MRV-процедур и до 15% от суммы сделки при продаже углеродных офсетов.

При этом качество углеродных офсетов, как результат реализации этих климатических проектов, неуклонно снижается [Hahn, Richards, 2013; Chagas et al., 2020], в том числе за счет несовершенства традиционной практики оценки дополнительной:

- завышаются первоначальные затраты по климатическому проекту из-за высоких трансакционных издержек;
- снижается рентабельность климатических проектов и ликвидность добровольных углеродных рынков за счет изъятия (в некоторых случаях до 60%) секвестрационного объема для создания буферных пулов и страхового покрытия, не участвующих в торговле;
- девальвируются небольшие (менее 5 га) участки из-за высоких первоначальных затрат и страховых платежей;
- не принимается во внимание фактор времени, т.е. не учитывается разновременность эмиссии и поглощения ПГ, что приводит к недооценке краткосрочных поглощающих возможностей и переоценке долгосрочной, на «утопическом» горизонте 100 лет, аккумуляции т CO₂.

3. Темпоральный подход оценки экономической эффективности климатических проектов

Темпоральный подход (ex post) предполагает оценивать краткосрочное (за определенный период) приращение поглощения т CO₂ [Kollmuss, Lazarus, Smith, 2011; Brazee, 2018; Belfiori, 2017]. Используется концепт жизненного цикла эмиссии 1 т CO₂, деградация которой в атмосфере происходит постепенно, и за 100 лет аккумулируется 52,85 CO₂ тонн-лет или с учетом фактора времени ($r = 3\%$)¹³ 19,92 CO₂ тонн-лет (рис. 3). Метод дисконтирования широко дискутируется в экономической литературе в рамках нормативного и позитивистского подходов, хотя, как правило, он используется в финансовом менеджменте для конвертации стоимости, ожидаемой в будущем периоде (т.е. через 1, 10 или 100 лет), в эквивалент стоимости, полученной в настоящий момент времени (т.е. сейчас).

¹³ Мы применяем в своих расчетах ставку дисконтирования 3%, поскольку такая же ставка используется в модели GIVE2023 для оценки именно социальной стоимости углерода в размере 81 долл./т CO₂e, которая задействована также в наших расчетах. Более того, уровень 3% широко используется в экономических исследованиях (например, работы [Greenstone., 2021; Stern, 2021]). Нордхаус также, несмотря на вариабильность своих сценарных расчетов, как правило, итоговые значения SCC приводит именно для ставки дисконтирования $r = 3\%$ [Nordhaus, 2017].

В данном исследовании этот метод используется именно в нормативном подходе для учета априорных социальных временных предпочтений относительно эмиссии и поглощения CO_2 тонн-лет. Исходя из этических оснований, процедура дисконтирования позволяет учесть, что не будущая, а текущая тонна CO_2 представляет большую ценность для решения социоэкономических проблем глобального изменения климата. Поскольку, по оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Climate Change, 2022], ущерб от неблагоприятных погодных явлений нарастает стремительно с течением времени и теперешний вклад в секвестрации или аккумуляции 1 т CO_2 представляется более значимым в достижении неперевышения потепления более чем на 1,5–2 градуса по сравнению с доиндустриальным уровнем.

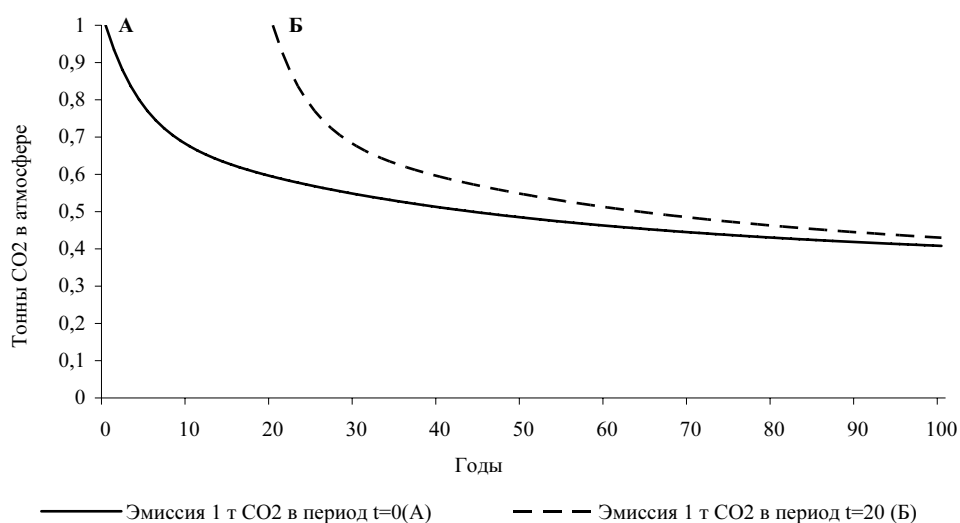


Рис. 3. Деградация эмиссии 1 т CO_2 в атмосфере в течение 100 лет

Таким образом, признается неравноценность эмиссии и поглощения одного и того же объема двуокси углерода, поскольку одномоментная эмиссии 1 т CO_2 сопоставима по силе воздействия на климат с постоянной аккумуляцией в атмосфере 52,85 т CO_2 в течение 100 лет (или 19,92 тонн-лет с учетом дисконтирования). Иными словами, полноценная компенсация ущерба от эмиссии 1 т CO_2 эквивалентна элиминированию из атмосферы 52,85 т CO_2 в течение 100 лет. Тогда справедливо и обратное¹⁴: одномоментное поглощение 52,85 т CO_2 (19,92 с учетом дисконтирования) равноценно предотвращению эмиссии 1 т CO_2 за 100 лет. Темпоральный подход позволяет деноминировать «постоянное» воздействие эмиссии 1 т CO_2 в краткосрочное аккумулярование CO_2 тон-

¹⁴ В действительности незначительно, но различается физическое воздействие на климат эмиссии 1 т CO_2 и ее поглощение. Согласно климатическим моделям [Елисеев, 2023; Семенов, 2022 и др.], эмиссия двуокси углерода чуть более эффективно повышает его концентрацию в атмосфере, нежели поглощение его снижает.

ны-лет и перейти от долгосрочных контрактов по углеродным кредитам (как правило, на 100 лет) к краткосрочным договорам (1–5–10 лет) и ежегодным выплатам по факту осуществления климатических проектов.

В общем виде конвертация краткосрочного, в течение t -лет (кредитный период), поглощения и аккумуляции t CO_2 в эквивалентное количество полноценных, т.е. эквивалентных по силе воздействия на климат на протяжении 100 лет, тонн эмиссии двуокиси углерода происходит по формуле:

$$(2) \quad \text{Краткосрочное поглощение } 1 \text{ т } \text{CO}_2 = \text{Стоимость отсрочки эмиссии в } \tau \text{ лет} = \int_0^{100} \text{CO}_{2-\text{лет}}(t) e^{-rt} - \int_0^{100} \text{CO}_{2-\text{лет}}(t) e^{-r(t-\tau)},$$

$$(3) \quad \text{CO}_{2-\text{лет}} = 21,73 + 22,4e^{\frac{t}{394,4}} + 28,24e^{\frac{t}{36,54}} + 27,63e^{\frac{t}{4,304}},$$

где $\text{CO}_{2-\text{лет}}$ – оставшиеся в атмосфере тонны CO_2 в результате одномоментной эмиссии 1 т CO_2 (модель Bern Simple Climate Model¹⁵) за период 100 лет (статичный горизонт¹⁶); e^{-rt} – экспоненциальный коэффициент дисконтирования¹⁷; r – ставка дисконтирования (как правило, 3%); τ – кредитный период (годы отсрочки эмиссии), т.е. продолжительность депонирования тонн CO_2 в рамках климатического проекта.

Если происходит поглощение 1 т CO_2 и надежное ее хранение, например в течение 5 лет (кредитный период), то происходит отсрочка эмиссии на 5 лет и на этот срок сокращается жизненный цикл этой эмиссии в атмосфере. За 95 лет аккумулируется в атмосфере уже чуть меньше 50,8 CO_2 тонн-лет или с учетом фактора времени ($r = 3\%$) 17,05 CO_2 тонн-лет. Тогда отсрочка эмиссии на 5 лет позволяет сократить на 2,86 CO_2 тонн-лет (19,92–17,05) жизненный цикл «вредной эмиссии», что эквивалентно 1/6,95 части постоянного воздействия эмиссии 1 т CO_2 (19,92/2,86) на протяжении 100 лет. Таким образом, краткосрочное поглощение 1 т CO_2 в течение 5 лет эквивалентно компенсации 1/6,95 части долгосрочной, в течение 100 лет, аккумуляции 1 т CO_2 , так называемой «постоянной» 1 т CO_2 в атмосфере.

¹⁵ Geoscientific Model Development, 11, 1887–1908, 2018. (<https://doi.org/10.5194/gmd-11-1887-2018>) (Accessed 11.01.2024).

¹⁶ Статичный горизонт не предполагает продление интеграла эмиссии за пределы 100 лет, в рамках которых аккумулируется 52,85 CO_2 тонн-лет. Хотя в действительности, с точки зрения физических процессов в атмосфере, жизненный цикл 1 тонны CO_2 в атмосфере продлевается и до 1000 лет, и математически при вычислении интеграла можно уйти в период [0; 1000]

¹⁷ Ставка дисконтирования принята в виде экспоненциальной функции, поскольку с учетом интересов будущих поколений и долгосрочного характера климатических проектов рекомендуется убывающий характер ставки дисконтирования, которая варьируется в диапазоне 3–5% и с течением времени стремится к нулю.

Таблица 2.

Деноминация краткосрочных CO₂ тонн-лет в долгосрочные т CO₂e

Год (τ)	Дисконтированное количество CO ₂ тонн-лет, накопленных за [0;100]	Дисконтированное количество CO ₂ тонн-лет, накопленных за [τ;100]	Изменение количества CO ₂ тонн-лет в результате депонирования τ-лет	Коэффициент конвертации краткосрочных CO ₂ тонн-лет в «постоянные» т CO ₂ e
1	19,92	19,31	0,61	32,74
2	19,92	18,72	1,19	16,62
...				
5	19,92	17,05	2,87	6,95
...				
10	19,92	14,58	5,34	3,73
...				
20	19,92	10,75	9,16	2,17

Примечание: при вычислениях возможно несовпадение в долях в связи с округлением. Ставка дисконтирования $r = 3\%$.

Источник: расчеты автора.

4. Карбоновые полигоны России: апробация темпорального подхода

В контексте принятой Стратегии низкоуглеродного развития в России реализуется федеральная инициатива Министерства науки и высшего образования РФ (Минобрнауки)¹⁸ по карбоновым полигонам, в рамках которой создается сеть разнообразных «карбоновых ферм» (лесо-агро-акваферм) с перспективой выпуска природных и технологических офсетов. Инициатива ставит акцент на исследовании поглощающих способностей природных экосистем, углеродный потенциал которых востребован для достижения не только углеродной нейтральности российскими регулируруемыми организациями¹⁹, но и возможного международного трансфера углеродных кредитов в рамках ст. 6 Парижского соглашения с учетом их ценных побочных эффектов в виде биоразнообразия, диверсификации доходов, создания рабочих мест и др.

¹⁸ Приказ Минобрнауки РФ от 05.02.2021 г. № 74 «О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса».

¹⁹ Приказ Минэкономразвития России от 06.05.2022 г. № 247 (ред. от 30.06.2023 г.) «Об утверждении порядка отнесения юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к региональным регулируемым организациям в рамках проведения эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 27.05.2022 г. № 68621).

Сравнение традиционного и темпорального подходов проведем на примере лесофермы Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова (ВГЛТУ), поскольку традиционный подход здесь уже апробирован и экономические оценки легко сопоставить.

Суть лесоклиматического проекта состоит в воссоздании смешанного леса (сосна обыкновенная, селекционный сорт березы повислой, тополь) площадью 750 га на землях лесного фонда в местах, пострадавших от пожара. По сравнению с базовым сценарием естественного восстановления древесной растительности на участках гарей (2,54 т CO₂ га/год) проектный сценарий предполагает увеличение поглощения до 15 т CO₂ га/год с учетом кредитного периода 20 лет. Если оценочное приращение наземной биомассы составляет 12,46 т CO₂/га в год, то с площади 750 га происходит отсрочка эмиссии 9345 т CO₂ в течение одного года, что эквивалентно 1/32,74 доли постоянного воздействия эмиссии двуокси углерода на протяжении 100 лет. Если принять во внимание, что социальная стоимость углерода (SCC), т.е. стоимость долгосрочного ущерба в результате эмиссии 1 т CO₂, равна 81 долл./т CO₂e [GIVE Model, 2022] или 2442 руб./т CO₂e (по ППС²⁰), то стоимость компенсации ущерба эмиссии 285 т CO₂ составляет $\frac{9345}{32,74} \cdot 2442 = 697022$ руб.

Тогда стоимость одного природного офсета (кредитный период 1 год) равна $\frac{697022}{9345} = 75$ руб. за УЕ .

Здесь стоит оговориться о целесообразности использования в расчетах обменного курса по паритету покупательной способности, т.е. ППС (PPP exchange rates). Существуют разные подходы к монетарной оценке социальноэкономического ущерба в разных страновых контекстах. Действительно, в более ранних экономических моделях и оценках (например, Третий оценочный доклад МГЭИК и др.) широко использовался рыночный обменный курс валют. Но в результате основательных дискуссий [Castles, Henderson, 2002; Pedersen et al., 2022] международное экономическое сообщество пришло к консенсусу о том, что корректно все-таки использовать курс по паритету покупательной способности. Так, Нордхаус [Nordhaus, 2013], результаты модельных расчетов которого (GIVE model) мы используем в данной статье, рекомендует, что «наиболее удовлетворительным является использование обменного курса по ППС в различных регионах». В отличие от ранних, сделанных в 2010-х годах, последние оценки SCC выражены в международных долларах на основе ППС²¹. Эта практика также не противоречит рекомендациям МВФ [Sarno, Taylor, 2002; Callen, 2024], который подчеркивает, что «ППС, в общем, рассматривается как лучшая мера оценки всеобщего благосостояния», в то время как «рыночный обменный курс является логическим выбором, где вовлечены финансовые потоки». Последствия изменения климата долгосрочны, а эффекты пролонгированы, поэтому более постоянный, менее подверженный волатильности, курс по ППС представляется предпочтительным для оценки как благосостояния, так и его потери. Кроме того, рыночный обменный курс применим только для товаров и услуг, торгуемых на мировых рынках, хотя из-за потепления

²⁰ Конвертация в рубли проведена по обменному курсу долл. США по ППС (2023): 1 international dollar = 30,123 руб. URL: OECD Purchasing power parities. (<https://data.oecd.org/conversion/purchasing-power-parities-ppp.htm>)

²¹ См.: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2312030121>

климата стоимость социоэкономического ущерба формируется, как правило, за счет широкого спектра местных, так называемых «неторгуемых», товаров и услуг (затраты на строительство, издержки амбулаторного лечения, ремонтные работы и др.). Все это говорит в пользу применения курса валют по ППС при конвертации социальной стоимости углерода как квинтэссенции оценки социоэкономического ущерба в различных валютах мира²².

Данный результат расчета можно получить альтернативным способом. Если социоэкономический ущерб (SCC) в результате эмиссии 1 т CO₂ оценивается в 2442 руб., то поглощение 9345 т CO₂ и хранение в пуле биомассы в течение года обеспечивает предотвращение эмиссии в этом же объеме на год. Тогда вероятные социоэкономические потери откладываются как минимум на год, а стоимость ущерба с учетом фактора времени девальвируется на 72 руб. и снижается с 2442 до 2370 руб.:

$$\begin{aligned} \text{стоимость поглощения 9345 т CO}_2 \text{ аккумуляция в течение года} &= \\ &= 9345 \times (2442 - 2442 \times e^{-0,03 \times 1}) = 674447 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{стоимость одного природного офсета (кредитный период 1 год)} &= \\ &= \frac{674447}{9345} = 72 \text{ руб. за UE.} \end{aligned}$$

Как можно заметить, два способа дают приблизительно одинаковый результат (75 ≈ 72 руб. за UE). Тогда за весь кредитный период 20 лет, благодаря деятельности лесофермы, возможно компенсировать негативное воздействие 49753 т CO₂ эмиссии (рис. 4).

Годовое поглощение, т CO ₂	Депонирование в течение 20 лет																				Эквивалент т CO ₂ эмиссии
	1	2	3																19	20	
9345	■																				285
9345	■	■																			563
9345	■	■	■																		832
...	■	■	■	■																	...
9345	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4064
9345	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4303
Совокупный объем отсроченной эмиссии																					49753

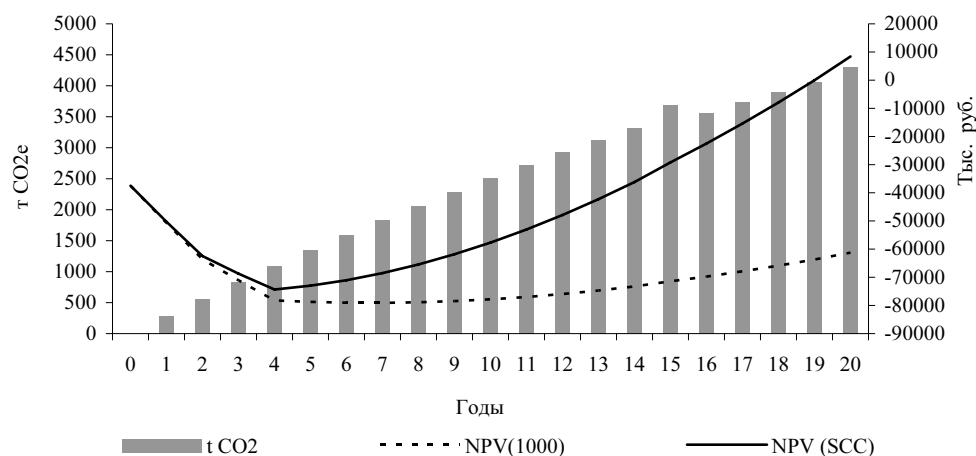
Рис.4. Соотношение объемов поглощения и компенсации эмиссии в рамках реализации лесоклиматического проекта в Воронежской области (темпоральный подход)
Источник: расчеты автора.

Таким образом, стоимость услуг инициатора лесофермы за проведение действий по дополнительному ежегодному поглощению 9345 т CO₂ на участке 750 га и их аккумуля-

²² Если бы в статье речь шла о ценовых котировках и спотовых сделках по продаже природных офсетов на торговых биржах (например, Xransive, Bluepext, etc.), то в этом контексте, конечно, уместно было бы применить рыночный обменный курс для сравнения.

ляции в пуле биомассы в течение 20 лет составляет 121 млн руб. (49753×2442), что соответствует компенсации негативного социоэкономического ущерба от эмиссии 49753 т CO_2 в атмосферу.

Традиционный подход оценки экономического потенциала лесофермы Воронежской области реализован специалистами ВГЛТУ [Концепция реализации природно-климатических проектов, 2022], согласно расчетам которых доход от продажи УЕ по цене 1 УЕ = 1000 руб. составляет 595 тыс. руб. на 1 га за 20 лет. Видно, что традиционный подход, при прочих равных²³, завышает более чем в 3 раза доходность лесофермы, чем оценки темпорального подхода, согласно которым доход не превышает 162 тыс. руб. на 1 га за 20 лет (121 млн руб./750га). Разрыв в оценке выпуска УЕ сказывается на общих показателях инвестиционной привлекательности. Как видно на рис. 5, в рамках темпорального подхода проект не окупается при цене 1 УЕ = 1000 руб. и может выйти в зону безубыточности через 20 лет, только если цена природного офсета приблизится к уровню социальной стоимости углерода (SCC).



Примечание: NPV (1000) означает сценарий реализации природных офсетов по цене 1000 руб. за сертифицированную УЕ; NPV (SCC) означает сценарий реализации природных офсетов по цене, соответствующей стоимости социоэкономического ущерба эмиссии 1 т двуокиси углерода, равной 81 долл. или 2442 руб. (по ППС).

Рис. 5. Динамика выпуска природных офсетов и накопленного финансового денежного потока от реализации лесоклиматического проекта в Воронежской области (темпоральный подход)

Тем не менее производительность этой лесофермы, согласно даже темпоральному подходу с возможным выпуском для продажи 49753 УЕ на 750 га земли за 20 лет, превосходит мировые аналоги. Так, лесоферма Glenlochay native woodland (Пертшир, Великобритания) задействует 588 га новых лесонасаждений на бывших сельскохозяйственных землях и планирует выпустить для продажи 177954 УЕ за 100 лет реализации проекта, оставив при этом 31404 т CO_2 в буферной зоне.

²³ Приняты идентичными затраты, площадь 750 га, ежегодная поглощающая способность (12,46 т CO_2 /га/год), динамика ее прироста, ставка дисконтирования 3% и другие базовые параметры проекта.

В целом темпоральный подход был использован для оценки всех 8 пилотных «карбоновых ферм» на основе базисных данных [Гулев, Дурманов, Шашкин, 2022] и заявленных программ карбоновых полигонов (табл. 3).

Таблица 3.
**Предварительная экономическая оценка выпуска природных офсетов
в рамках пилотных проектов федеральной программы Минобрнауки РФ
по карбоновым полигонам**

Природно-климатический проект	Площадь, га	Оценочное приращение поглощения, т CO ₂ /га/год	Период реализации, лет	Выпуск природных офсетов* (сертифицированные УЕ)
<i>Лесоклиматические проекты</i>				
Лесоферма Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова	750	12,46	20	49753
Лесоферма Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова	23,5	7,3	15	204
Лесоферма «Чашниково-лес» Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова	1	2	45	60
<i>Водно-болотные климатические проекты</i>				
Акваферма Балтийского федерального университета им. И. Канта	112	4,8	30	7169
Фитопланктонная акваферма «Микроводоросли Черного моря» Института океанологии Российской академии наук	40	0,54	30	1269
Акваферма залива Анива Сахалинского государственного университета	5	1,8	5	360
<i>Агроклиматические проекты</i>				
Агроферма «Чашниково-агропроект» Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова	2,5	8	5	23
Агроферма «Уральская» Уральского государственного аграрного университета	25	15	5	540

Примечание: * – оценочный показатель, представлен на основе расчетов авторов с использованием темпорального подхода, $r = 3\%$.

Как показывают результаты расчетов, все российские пилотные проекты, несмотря на различия в масштабе, видовой структуре, биологических характеристиках, обладают определенным потенциалом для выпуска природных офсетов, сопоставимым с мировыми аналогами. Важен выбор методического подхода для оценки дополнительной. Если приоритет будет отдан экстенсивной стратегии увеличения поглощения, например расширению площади лесовосстановления, то традиционный подход позволит увеличить выпуск УЕ за счет акцента на совокупном объеме поглощения лесонасаждений. Если предпочесть ускорение поглощения и аккумуляцию углерода лесными плантациями, то более адекватным будет темпоральный подход, который учитывает скорость наращивания и динамику депонирования углерода.

Если в сфере реализации агроклиматических проектов уделить большее внимание совокупному объему секвестрации (т CO₂e/га), то значимость приобретают проекты агролесоводства, так как при низкой интенсивности поглощения они дают большой кумулятивный эффект. Если же будет сделан акцент на интенсификации поглощения, то необходимо ввести дополнительный параметр для оценки агроферм – кг CO₂e/кг урожая.

Что касается акваферм²⁴, то, как показывает мировой опыт, они рассчитаны на долгосрочную реализацию за счет высокой капиталоемкости и исследовательского бюджета и их экономическая стоимость только частично верифицируется потенциалом поглощения парниковых газов. В действительности их ценность определяется крупными социально-экономическими эффектами (как в случае с торфяниками снижается ущерб от пожаров) и экосистемными выгодами (как в случае с фитопланктонной фермой повышается питательность среды и продуктивность морских рыбных ресурсов).

В целом темпоральный подход в наших расчетах дает значительное увеличение объема выпуска природных офсетов именно в долгосрочном периоде, тем самым поэтапно стимулируя инициаторов к пролонгации климатических проектов.

5. Обсуждение результатов

1. Темпоральный подход позволяет учесть фактор времени в стоимости природных офсетов. Климатические проекты долгосрочны, а их эффекты пролонгированы. Фактор времени приобретает особое значение не только для инвестиционной оценки денежных потоков, но и для соизмерения вклада текущих и будущих тонн CO₂ в достижение стабилизации температурного режима. Согласно временной стоимости, чем больше мы ценим настоящее, тем больше мы обесцениваем будущие последствия, и явная экономия, полученная сейчас, ценится нынешним поколением, как правило, выше потенциальных выгод, которые возможны через несколько десятков лет и важны для будущих поколений. Поэтому при равных монетарных измерениях текущая экономия и краткосрочное депонирование 1 т CO₂e оценивается выше, чем потенциальные выгоды от долгосрочного аккумуляции 1 т CO₂ в течение гипотетических 100 лет.

²⁴ Для оценки дополнительной акваферм темпоральный подход также требует модификации, поскольку деградация 1 т CO₂ в водной среде отличается от темпов и динамики жизненного цикла 1 т CO₂ в атмосфере, которая заложена в процедуре конвертации краткосрочных (годовых) в долгосрочные (постоянные) тонны CO₂e.

В табл. 4 представлена зависимость от временных предпочтений конвертации краткосрочного потока поглощения т CO₂ в эквивалентный объем эмиссии, соответствующий их воздействию на климат в течение 100 лет. Чем выше ставка дисконтирования, тем ниже коэффициент конвертации и тем меньшее количество тонн CO₂ требуется сократить или изъять из атмосферы за год, чтобы добиться эквивалентного обмена. Другими словами, чем выше ставка дисконтирования, тем выше стоимость краткосрочных природных офсетов, позволяющих быстро наращивать поглощающую способность.

Таблица 4.

**Влияние ставки дисконтирования
на стоимость углеродных офсетов**

Год (τ)	Коэффициент конвертации краткосрочных CO ₂ тонн-лет в «постоянные» т CO _{2e} при ставке дисконтирования			
	r = 0%	r = 3%	r = 10%	r = 25%
1	129,51	32,74	10,5	4,52
2	64,68	16,62	5,52	2,54
...				
5	25,78	6,95	2,54	1,4
...				
10	12,81	3,73	1,58	1,08

Источник: расчеты автора.

2. При темпоральном подходе не требуется создание буферных пулов и страхового покрытия, не задействованных в торговле, поскольку если деструктивные процессы произошли (пожары, вырубка и др.), то по факту (ex post), в результате дистанционного мониторинга, дополнительное приращение поглощения на этих участках не фиксируется. Это повышает ликвидность добровольных углеродных рынков и снижает риски банкротства. Новые цифровые MRV-протоколы разрабатывают верификаторы в Скандинавии (Agreena), Великобритании (The Woodland Carbon Code), США (CarbonPlan), странах Юго-Восточной Азии и Китае. В то же время возможны углеродные утечки за рамки климатических проектов: учитывая смежность экосистем и сопряженность территорий, в этом случае в формуле (1) можно предусмотреть соответствующее сокращение выпуска УЕ на величину Ω.

3. Темпоральный подход ставит акцент на предельных ежегодных, а не осредненных за сто лет изменениях парниковых газов и оценивает только реальное, состоявшееся приращение поглощения. Согласно модельным расчетам климатологов [Семенов, 2012], чем быстрее происходит прямое сокращение парниковых газов в атмосфере, тем меньший период необходим для стабилизации температуры и востребованным становится более краткосрочное хранение углерода. Так, для сценария потепления менее 1,5 градуса необходимо уже к 2050 г. достичь «чистых» нулевых выбросов, а для сценария в 3 градуса углеродная нейтральность может наступить после 2100 г. [Мурашев, Елисеев, Мохов, 2021]. Хотя это справедливо только в случае, если не произойдет раннего высвобождения нако-

пленного углерода. Это соответствует более прогрессивной климатической стратегии разных стран, амбициозность которых должна расти согласно Парижскому соглашению²⁵, и темпоральный подход как раз ориентирован на повышение амбициозности политики декарбонизации для стабилизации температурного режима.

Вместе с тем темпоральный подход отягощен рядом важных ограничений, которые активно обсуждаются в научной литературе.

- Концепт жизненного цикла деградации двуокиси углерода не принимает во внимание эффект альbedo, вызванный обратными биофизическими процессами, которые приводят не к росту температуры, а к охлаждению поверхности в результате накопления углерода в атмосфере [Корнева, Семенов, 2016]. Игнорирование альbedo может привести к избыточному выпуску природных офсетов и «перегреву» добровольного углеродного рынка, т.е. к реализации большего количества УЕ, чем необходимо для стабилизации температурного режима. Более предпочтительным считается построение региональных климатических моделей, на основе которых определяются специфические для данной территории коэффициенты конвертации краткосрочных т CO₂ в «постоянные».

- Даже если коэффициенты конвертации определены корректно для эквивалентного обмена, концепт дисконтирования изначально задает неравноценность текущих и будущих потоков парниковых газов, тем самым игнорируя ущерб эмиссии за горизонтом 100 лет (более 50% воздействия остается за этим рамками) и отдавая конкурентное преимущество краткосрочным, интенсивно поглощающим, молодым биоплантациям. Однако биологическая продуктивность лесных насаждений зависит не только от видового, но и от гендерного разнообразия, когда важность приобретают старовозрастные леса, а ценность биоплантаций только частично определяется стоимостью древесины и углеродных офсетов [Farmer, 2022; Мамкин и др., 2019]. С этой точки зрения природно-климатические проекты в большей степени подходят для выпуска биокредитов, которые, в отличие от углеродных офсетов, делают акцент на количественной оценке биоразнообразия, нежели только поглощению парниковых газов [Zynobia, Steele, Ducros, 2023].

- Происходит молчаливое допущение оптимизации выпуска природных офсетов на основе соизмерения предельных выгод и издержек осуществления климатического проекта. За основу берется экономический расчет социальной стоимости углерода, которая представляет quintessence анализа выгод и издержек эмиссии парниковых газов [Горбачева, 2020]. Но с точки зрения климатологии и биологии природа ценна сама по себе как таковая, а не благодаря приращению дополнительных эффектов [Dasgupta, 2021], когда стабилизация температурного режима около 1,5–2 градусов представляется самоцелью [Володин, Грицун, 2021], для достижения которой неважны темпы падения ВВП, рабочие места, нефтегазовые поступления в казну и другие социоэкономические последствия. В то же время краткосрочное интенсивное поглощение не означает элиминирование совокупного ущерба эмиссии, но помогает избежать пиковых температур в обозримой перспективе. В этом отношении природные офсеты можно использовать не в качестве компенсации прямых выбросов или нейтрализации углеродного следа продукции, а рассматривать на комплементарной основе в портфеле климатических проектов.

²⁵ Пункт 3 статьи 4 Парижского соглашения гласит: «Каждый последующий определяемый на национальном уровне вклад Стороны будет представлять собой продвижение *вперед* сверх текущего определяемого на национальном уровне вклада и отражает ее как можно *более высокую амбициозность*».

6. Заключение

В результате сравнительного анализа традиционного и темпорального подходов к оценке климатических проектов для выпуска природных офсетов можно сделать теоретический и прикладной выводы.

В теоретическом плане междисциплинарное сочетание физического и экономического концептов – жизненного цикла деградации двуокиси углерода и дисконтирования – требует дальнейшего совершенствования темпорального подхода. Разработка региональных климатических моделей, построение региональных функций ущерба может отчасти снять определенные противоречия. Но фундаментальные разногласия нельзя снять лишь корректировкой расчетных способов, для этого требуется обоснованный выбор между достижением стабилизации температурного режима любой ценой или же с учетом оптимизации «чистых» выгод для общества.

На практике значимость краткосрочных природных офсетов сохраняется, поскольку:

- они позволяют выиграть время для разработки действительно надежных безуглеродных технологий, промышленные образцы которых пока отсутствуют;
- объективно трудоемкие для декарбонизации отрасли нуждаются в углеродных кредитах для нейтрализации углеродного следа, например при производстве цемента, удобрений, цветных металлов;
- будучи рыночным феноменом, углеродные офсеты позволяют перенаправить финансовые ресурсы эмитентов на инновационные разработки инициаторов климатических проектов, тем самым поощряя конкуренцию с целью снижения издержек декарбонизации экономики.

Набирающий популярность в мировой практике темпоральный подход представляет лишь один из кластеров методологий, совершенствование которых важно не только с точки зрения частных коммерческих интересов, но имеет национальное и международное значение. Углеродные кредиты могут быть использованы не только российскими предприятиями, но и контрагентами других юрисдикций для достижения углеродной нейтральности в рамках статьи 6 Парижского соглашения. Согласно руководящим указаниям Рамочной конвенции ООН во избежание проблем двойного учета, национальные обязательства по сокращению парниковых газов²⁶ «страны-хозяйки» увеличиваются на величину международного трансфера углеродных кредитов. Некорректность методологий и переоценка выпуска природных офсетов «на местах» может привести к завышению национальных обязательств и рискам недоучета эффектов дополненности в национальном кадастре парниковых газов. Поэтому разработка современных научно обоснованных методологий оценки, соответствующих передовым практикам и новому поколению углеродных рынков, остается востребованной.

В целом темпоральный подход и природные офсеты представляют собой два глобальных тренда, имеющих как преимущества, так и ограничения. Далеко не «все уже решено», и важно продолжить научную дискуссию, от которой во многом зависит совершенствование различных методологий и методик оценки климатических инициатив.

²⁶ Определяемый на национальном уровне вклад РФ в реализацию Парижского соглашения (NDC).

* *
*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ваганов Е.А., Пыжжев А.И., Курбатова М.В. Перспективы реализации лесоклиматических проектов: потенциал регионов Енисейской Сибири: флагманский аналитический доклад. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2023. (<https://www.sfu-kras.ru/files/NOC-doklad.pdf>) (Дата обращения: 11.01.2024).

Володин Е.М., Грицун А.С. Воспроизведение возможных будущих изменений климата в XXI веке с помощью модели климата INM-CM5 // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 3. С. 255–266. DOI 10.31857/S0002351520030128

Горбачева Н.В. Действительная стоимость электроэнергии в Сибири: анализ выгод и издержек // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2020. Т. 24. № 3. С. 340–371. DOI: 10.17323/1813-8691-2020-24-3-340-371

Гулев С.К., Дурманов Н.Д., Шашкин А.П. Информационный проспект «Карбоновые полигоны Российской Федерации». М.: Минобрнауки России, 2022. (<https://carbon-polygons.ru/assets/Carbon-polygons-handout-2022.pdf>)

Информация об общем количестве договоров и общем стоимостном объеме договоров, заключенных на товарных аукционах АО НТБ. Сентябрь, 2022, Октябрь, 2023. (<https://www.namex.org/ru/commodityauctions/realtimeCA/monthCA>) (Дата обращения: 11.01.2024).

Концепция реализации природно-климатических проектов в Российской Федерации. (<https://carbon-polygons.ru/news/uchenyie-ocenili-investiczionnuyu-privlekatelnost-lesnyix-klimaticheskix-proektov>) (Дата обращения: 11.01.2024).

Корнева И.А., Семенов С.М. Чувствительность температуры земной поверхности к изменению альбедо атмосферы: оценка радиационного эффекта // Метеорология и гидрология. 2016. № 5. С. 5–11.

Кузнецов М.Е., Стеценко А.В., Никишова М.И. Перспективы инвестирования в лесоклиматические проекты в России // Экономическая политика. 2022. Т. 17. № 5. С. 26–53.

Мамкин В.В., Авилов В.К., Иванов Д.Г., Ольчев А.В., Курбатова Ю.А. Потоки CO₂ на сплошной вырубке в Южной тайге Европейской территории России // Сибирский экологический журнал. 2019. Т. 26. № 5. С. 598–611. DOI 10.15372/SEJ20190509

Методология реализации климатического проекта № 0012 «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе снижение воздействия лесозаготовок». (https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20%E2%84%960012_rus.pdf) (Дата обращения: 11.01.2024).

Методология реализации климатического проекта № 0010 «Лесовосстановление». Версия 2.0. (https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20%E2%84%960010_rus.pdf) (Дата обращения: 11.01.2024).

Мурашев К.Е., Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние нелинейных процессов на временной лаг между изменениями глобальной температуры и содержанием углекислого газа в атмосфере // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 501. № 1. С. 62–68. DOI 10.31857/S2686739721110116.

Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р ИСО 14080-2021 Управление парниковыми газами и связанные виды деятельности. Система подходов и методическое обеспечение реализации климатических проектов. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. (<https://docs.cntd.ru/document/1200181057>) (Дата обращения: 11.01.2024).

Оценка потоков парниковых газов в экосистемах регионов Российской Федерации. М.: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2023.

Руководство № 001. Обоснование дополнительной проектной деятельности. (https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/%D0%A1%D0%A0%D0%9C%20Guidelines%20%E2%84%96001_rus.pdf) (Дата обращения: 11.01.2024).

Сафонов Г.В., Поташников В.Ю., Сафонов М.Г. и др. Перспективы экологической модернизации экономики России // Журнал Новой экономической ассоциации. 2022. № 4(56). С. 195–201. DOI 10.31737/2221-2264-2022-56-4-9

Семенов С.М. Парниковый эффект и его антропогенное усиление // Солнечно-земная физика. 2012. № 21(134). С. 10–17.

Сорокина Д.Д., Птичников А.В., Романовская А.А. Сравнительный анализ и оценка методик расчета поглощения парниковых газов лесными экосистемами, применяемых в Российской Федерации // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 4. С. 497–511. DOI 10.31857/S2587556623040131

Эдельгериев Р.С.Х., Иванов А.Л., Донник И.М. и др. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство). Т. 3. М.: Изд. МБА, 2021. DOI 10.52479/978-5-6045103-9-1

Brazee R.J. Impacts of Declining Discount Rates on Optimal Harvest Age and Land Expectation Values // Journal of Forest Economics. 2018. Vol. 31. № 1. P. 27–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.06.002>

Belfiori M.E. Carbon Pricing, Carbon Sequestration and Social Discounting // European Economic Review. 2017. Vol. 96. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2017.03.015>

Callen T. Purchasing Power Parity: Weights Matter. 2024. (<https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/Fandd/Back-to-Basics/callen-purchasing-power-parity.ashx>)

Castles I., Henderson D. Letters to Dr Pachauri, IPCC Chairman, 2002. (<http://www.economist.com/media/text/efhpdoc1.pdf>)

Carbon Pricing Dashboard. World Bank. (<https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>) (Accessed 11.01.2024).

Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policymakers. Working Group II Contribution of to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / drafting authors: H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, H. Adams et al. IPCC, 2022. (https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf) (Accessed 11.01.2024).

Chagas T., Galt H., Lee D., Neeff T., Streck C. A Close Look at the Quality of REDD+ Carbon Credits. 2020. (<https://climatefocus.com/wp-content/uploads/2022/06/A-close-look-at-the-quality-of-REDD-carbon-credits-2020-V2.0.pdf>) (Accessed 11.01.2024).

Dasgupta P. The Economics of Biodiversity: The Dasgupta review. HM Treasury, 2021. (https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602e92b2e90e07660f807b47/The_Economics_of_Biodiversity_The_Dasgupta_Review_Full_Report.pdf) (Accessed 11.01.2024).

Farmer J. Elderflora: A Modern History of Ancient Trees. N.Y.: Basic Books, 2022.

Gibbs S. (ed.) Voluntary Carbon Markets Monitor: Record Demand for Carbon Credits. Institute of International Finance, 2024. (<https://www.iif.com/Publications/Members-Only-Content>)

Gillenwater M. What Is Additionality? Part 1. A Long Standing Problem: Discussion Paper. № 001. January 2012. Version 3. GHG Management Inst. (https://ghginstitute.org/wp-content/uploads/2015/04/AdditionalityPaper_Part-1ver3FINAL.pdf) (Accessed 11.01.2024).

GIVE Model. Resources for the Future. (<https://www.rff.org/publications/data-tools/scc-explorer/>) (Accessed 11.01.2024).

Grafton R.Q., Hoang Long Chu, Nelson H., Bonniss G. A Global Analysis of the Cost-Efficiency of Forest Carbon Sequestration: OECD Environment Working Papers. № 185. Paris: OECD Publ., 2021. DOI: <https://doi.org/10.1787/e4d45973-en>

Hahn R., Richards K. Understanding the Effectiveness of Environmental Offset Policies // Journal of Regulatory Economics. 2013. Vol. 44. № 1. P. 103–119. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11149-013-9211-1>.

Forest Trends' Ecosystem Marketplace. 2023. "All in on Climate: The Role of Carbon Credits in Corporate Climate Strategies". Washington DC: Forest Trends Association, 2023.

Kollmuss A., Lazarus M., Smith G. Discounting Offsets: Issues and Options // Carbon Management. 2011. Vol. 2. № 5. P. 539–549. DOI: 10.4155/cmt.11.49/

Nordhaus W.D. Revisiting the Social Cost of Carbon // PNAS. 2017. February 14. Vol. 114. № 7. P. 1518–1523.

Nordhaus W.D. Chapter 16. Integrated Economic and Climate Modeling // Handbook of Computable General Equilibrium Modeling / Eds. P.B. Dixon, D.W. Jorgenson. Elsevier. Vol. 1. 2013. P. 1069–1131. (<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59568-3.00016-X>)

Peatland Code: Guidance. Version 1.2. April 2022. (<https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/header-images/Peatland%20Code/Peatland%20Code%20v1.2%20Guidance%20Document.pdf>) (Accessed 11.01.2024).

Plan Vivo Project Design Document (PDD). MIKOKO PAMOJA. Mangrove Conservation for Community Benefit: 2020 Revision. (<https://www.planvivo.org/Handlers/Download.ashx?IDMF=3faf7087-dec2-41ca-8a67-42a98e21c59d>) (Accessed 11.01.2024).

Sarno L., Taylor M.P. Purchasing Power Parity and the Real Exchange Rate // IMF Staff Papers. Vol. 49. № 1. 2002.

Scandinavian Forest Economics. № 49. 2020. Proceedings of the IUFRO WG 5.10.00 & Scandinavian Society of Forest Economics (SSFE): online conf., 28–30 Sept. 2020 / eds. T. Hujala et al. (https://www.ssf-network.org/wp-content/uploads/2020/12/Scandinavian_Forest_Economics_No_49.pdf) (Accessed 11.01.2024).

SHAMBA Tool. Smallholder Agriculture Monitoring and Baseline Assessment. (<https://shambatool.wordpress.com/>) (Accessed 11.01.2024).

Shifting Voluntary Climate Finance to the High Hanging Fruit of Climate Action // New Climate Institute: site. (https://newclimate.org/sites/default/files/2023-07/newclimate_shiftingvoluntaryclimatefinance-tohighhangingfruitofclimateaction_jul23.pdf) (Accessed 14.01.2024).

VCMI Claims Code of Practice. The Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative, 2023: site. (<https://vcmintegrity.org/wp-content/uploads/2023/11/VCMI-Claims-Code-of-Practice-November-2023.pdf>) (Accessed 11.01.2024).

VM0003 Methodology for Improved Forest Management through Extension of Rotation Age, v1.2. VERRA: site. (<https://verra.org/methodologies/vm0003-methodology-for-improved-forest-management-through-extension-of-rotation-age-v1-2/>) (Accessed 11.01.2024).

Zynobia E., Steele P., Ducros A. Biocredit Catalogue: A Collection of Biocredit Developers and Schemes. London: IIED, 2023. (<https://www.iied.org/22201iied>) (Accessed 11.01.2024).

Economic Efficiency of Climatic Projects: Conventional and Temporal Approaches

Natalya Gorbacheva

Institute of Economics and Industrial Engineering,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
17, Academician Lavrentyev Avenue, Novosibirsk, 630090, Russian Federation.
Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA)
6, Nizhegorodskaya Str., Novosibirsk, 630102, Russian Federation
E-mail: gorbacheva-nv@ranepa.ru

Nature-based carbon offsets are worldwide used for issuing certificated carbon units that allow emitters compensate their GHG emissions within voluntary and compliance carbon markets. Despite of their widespread, prices remain to be volatile due to imperfection of these tools: unreliable removal, short-term accumulation, high risks of double accounting and overcrediting, low trustworthy verification, not realistic the baseline emissions and overestimated additionality. Mastering the methodology for assessing climatic projects could rid of these shortcomings. In this article temporal approach is proposed for economic estimation of climatic projects on the basis of applying the physics concept of the atmospheric lifetime of CO₂ emission and the economic concept of discounting. Temporal approach has been examined by assessing pilot climatic project of carbon supersites in Russia. Our research results demonstrate the controversy between conventional and temporal approaches, and some of these disparities can be softened by improving calculation methods, but fundamental contradictions demand the normative justification. By practice short-termed nature-based carbon offsets remain valid, thou for new generation carbon markets it is necessary to produce hybrid approach on the basis converging conventional and temporal approaches for assessing climatic initiatives.

Key words: climate change; carbon offset; nature-based solution; methodology; temporal approach; discounting; carbon supersites of Russia.

JEL Classification: Q54; H43; B41.

* *
*

References

- Assessment of Greenhouse Gas Fluxes in Ecosystems of the Russian Federation Regions* (2023) Moscow: Institute of Global Climate and Ecology named after Academician Y.A. Izrael. (in Russ.)
Brazee R.J. (2018) Impacts of Declining Discount Rates on Optimal Harvest Age and Land Expectation Values. *Journal of Forest Economics*, 31, 1, pp. 27–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.06.002>

- Belfiori M.E. (2017) Carbon Pricing, Carbon Sequestration and Social Discounting. *European Economic Review*, 96, pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2017.03.015>
- Callen T. (2024) *Purchasing Power Parity: Weights Matter*. Available at: <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/Fandd/Back-to-Basics/callen-purchasing-power-parity.ashx>
- Castles I., Henderson D. (2002) *Letters to Dr Pachauri*. IPCC Chairman. Available at: <http://www.economist.com/media/text/efhpdoc1.pdf>
- Carbon Pricing Dashboard*. World Bank. Available at: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/> (Accessed 11.01.2024).
- Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policymakers* (2022) Working Group II Contribution of to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Drafting authors: H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, H. Adams et al. IPCC. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf (Accessed 11.01.2024).
- Chagas T., Galt H., Lee D., Neeff T., Streck C. (2020) *A Close Look at the Quality of REDD+ Carbon Credits*. Available at: <https://climatefocus.com/wp-content/uploads/2022/06/A-close-look-at-the-quality-of-REDD-carbon-credits-2020-V2.0.pdf> (Accessed 11.01.2024).
- Concept of Realization of Natural-Climatic Projects in the Russian Federation*. Available at: <https://carbon-polygons.ru/news/uchenyie-ocenilli-investiczionnuyu-privlekatelnost-lesnyix-klimaticheskix-proektov> (in Russ.)
- Dasgupta P. (2021) *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta review*. HM Treasury. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602e92b2e90e07660f807b47/The_Economics_of_Biodiversity_The_Dasgupta_Review_Full_Report.pdf (Accessed 11.01.2024).
- Edelgeriev R.A., Ivanov A.L., Donnik I.M. et al. (2021) *Global Climate and Soil Cover of Russia: Manifestations of Drought, Measures of Prevention, Control, Elimination of Consequences and Adaptation Measures (agriculture and forestry)*. Vol. 3. Moscow: IBA Publishing House. DOI 10.52479/978-5-6045103-9-1 (in Russ.)
- Farmer J. (2022) *Elderflora: A Modern History of Ancient Trees*. N.Y.: Basic Books.
- Forest Trends' Ecosystem Marketplace (2023) *All in on Climate: The Role of Carbon Credits in Corporate Climate Strategies*. Washington DC: Forest Trends Association.
- Gorbacheva N.V. (2020) True Value of Electricity in Siberia: Cost-Benefit Analysis. *HSE Economic Journal*, 24, 3, pp. 340–371. DOI: 10.17323/1813-8691-2020-24-3-340-371 (in Russ.)
- Gulev S.K., Durmanov N.D., Shashkin A.P. (2022) *Information Prospectus "Carbon Polygons of the Russian Federation"*. Moscow: Ministry of Education and Science of Russia. Available at: <https://carbon-polygons.ru/assets/Carbon-polygons-handout-2022.pdf> (in Russ.)
- Gibbs S. (ed.) (2024) *Voluntary Carbon Markets Monitor: Record Demand for Carbon Credits*. Institute of International Finance. Available at: <https://www.iif.com/Publications/Members-Only-Content>
- Gillenwater M. (2012) *What Is Additionality? Part 1. A Long Standing Problem*. Discussion Paper. no 001. January, Version 3. GHG Management Inst. Available at: https://ghginstitute.org/wp-content/uploads/2015/04/AdditionalityPaper_Part-1ver3FINAL.pdf (Accessed 11.01.2024).
- GIVE Model. Resources for the Future*. Available at: <https://www.rff.org/publications/data-tools/scc-explorer/> (Accessed 11.01.2024).
- Grafton R.Q., Hoang Long Chu, Nelson H., Bonniss G. (2021) *A Global Analysis of the Cost-Efficiency of Forest Carbon Sequestration*. OECD Environment Working Papers. no 185. Paris: OECD Publ. DOI: <https://doi.org/10.1787/e4d45973-en>
- Guideline no 0010. Justification of Additionality of Project Activities*. Available at: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/%D0%A1%D0%A0%D0%9C%20Guidelines%20%E2%84%96001_rus.pdf (in Russ.).
- Hahn R., Richards K. (2013) Understanding the Effectiveness of Environmental Offset Policies. *Journal of Regulatory Economics*, 44, 1, pp. 103–119. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11149-013-9211-1>.
- Information on the Total Number of Contracts and Total Value of Contracts Concluded at Commodity Auctions at National Mercantile Exchange (NAMEX)*, September, 2022, October, 2023. Available at: <https://www.namex.org/ru/commodityauctions/realtimeCA/monthCA> (in Russ.)

- Kollmuss A., Lazarus M., Smith G. (2011) Discounting Offsets: Issues and Options. *Carbon Management*, 2, 5, pp. 539–549. DOI: 10.4155/cmt.11.49/
- Korneva I.A., Semenov S.M. (2016) Surface Temperature Response to Variations in Atmospheric Albedo: Estimating the Radiation Effect. *Russian Meteorology and Hydrology*, 41, 5, pp. 307–311 (in Russ.)
- Kuznetsov M., Nikishova M., Stetsenko A. (2022) Prospects for Investing in Forest Climate Projects in Russia. *Ekonomicheskaya Politika*, 17, 5, pp. 26–53. DOI: 10.18288/1994-5124-2022-5-26-53 (in Russ.)
- Mamkin V., Kurbatova J., Avilov V., Ivanov D., Kuricheva O., Varlagin A., Yaseneva I., Olchev A. (2019) Energy and CO₂ Exchange in an Undisturbed Spruce Forest and Clear-Cut in the Southern Taiga. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, pp. 252–268. DOI 10.15372/SEJ20190509 (in Russ.)
- Methodology for Implementation of Climate Project no 0012* “Improved Forest Management, Including Reduced Impact of Logging”. Available at: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20%E2%84%960012_rus.pdf (in Russ.)
- Methodology for Implementation of Climate Project no 0010* “Reforestation”. Version 2.0. Available at: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20%E2%84%960010_rus.pdf (in Russ.)
- Muryshev K.E., Eliseev A.V., Mokhov I.I., Timazhev A.V., Arzhanov M.M., Denisov S.N. (2021) Influence of Nonlinear Processes on the Time Lag between Changes in the Global Temperature and the Carbon Dioxide Content in the Atmosphere. *Doklady Earth Sciences*, vol. 501, no 1, pp. 949–954. DOI 10.31857/S2686739721110116. (in Russ.)
- National Standard of the Russian Federation. GOST R ISO 14080-2021 *Greenhouse Gas Management and Related Activities*. System of approaches and methodological support for the implementation of climate projects. Electronic fund of legal and normative-technical documents. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200181057> (in Russ.)
- Nordhaus W.D. (2017) Revisiting the Social Cost of Carbon. *PNAS*. February 14, 114, 7, pp. 1518–1523.
- Nordhaus W.D. (2013) Chapter 16. Integrated Economic and Climate Modeling. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling* (eds. P.B. Dixon, D.W. Jorgenson). Elsevier, 1, pp. 1069–1131. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59568-3.00016-X>
- Peatland Code: Guidance* (2022) Version 1.2. April. Available at: <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/header-images/Peatland%20Code/Peatland%20Code%201.2%20Guidance%20Document.pdf> (Accessed 11.01.2024).
- Plan Vivo Project Design Document (PDD). MIKOKO PAMOJA (2020) *Mangrove Conservation for Community Benefit: Revision*. Available at: <https://www.planvivo.org/Handlers/Download.ashx?IDMF=3faf7087-dec2-41ca-8a67-42a98e21c59d> (Accessed 11.01.2024).
- Sarno L., Taylor M.P. (2002) *Purchasing Power Parity and the Real Exchange Rate*. IMF Staff Papers, 49, 1.
- Safonov G. V., Potashnikov V. Yu., Safonov M. G. et al. (2022) The Prospects for Ecological Modernization of Russian Economy. *Journal of the New Economic Association*, 4, 56, pp. 195–201. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-56-4-9 (in Russ.)
- Scandinavian Forest Economics*. no 49 (2020) Proceedings of the IUFRO WG 5.10.00 & Scandinavian Society of Forest Economics (SSFE) (eds. T. Hujala et al.): online conf., 28–30 Sept. 2020. Available at: https://www.ssfe-network.org/wp-content/uploads/2020/12/Scandinavian_Forest_Economics_No_49.pdf (Accessed 11.01.2024).
- Semenov S.M. (2012) Greenhouse Effect and its Anthropogenic Enhancement. *Solar-Terrestrial Physics*, 12, 134, pp. 10–12. (in Russ.)
- SHAMBA Tool. *Smallholder Agriculture Monitoring and Baseline Assessment*. Available at: <https://shambatool.wordpress.com/> (Accessed 11.01.2024).
- Shifting Voluntary Climate Finance to the High Hanging Fruit of Climate Action*. New Climate Institute: site. Available at: https://newclimate.org/sites/default/files/2023-07/newclimate_shiftingvoluntaryclimatefinance_tohighhangingfruitofclimateaction_jul23.pdf (Accessed 14.01.2024).

Sorokina D.D., Ptichnikov A.V., Romanovskaya A.A. (2023) Comparative Analysis and Assessment of Methods for Calculating Greenhouse Gas Uptake by Forest Ecosystems Used in the Russian Federation. *Regional Research of Russia*, 87, 4, pp. 497–511. DOI 10.31857/S2587556623040131 (in Russ.)

Vaganov E.A., Pyzhev A.I., Kurbatova M.V. (2023) *Prospects for the Realization of Forest-Climatic Projects: the Potential of the Regions of Yenisei Siberia*: flagship analytical report. Krasnoyarsk: Sib. Feder. University. Available at: <https://www.sfu-kras.ru/files/NOC-doklad.pdf> (in Russ.)

VCMI Claims Code of Practice (2023) *The Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative*. Available at: <https://vcmintegrity.org/wp-content/uploads/2023/11/VCMI-Claims-Code-of-Practice-November-2023.pdf> (Accessed 11.01.2024).

VM0003 *Methodology for Improved Forest Management through Extension of Rotation Age*, v1.2. VERRA: site. Available at: <https://verra.org/methodologies/vm0003-methodology-for-improved-forest-management-through-extension-of-rotation-age-v1-2/> (Accessed 11.01.2024).

Volodin E.M., Gritsun A.S. (2020) Simulation of Possible Climate Changes in the 21st Century in the INM-CM5 Climate Model. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 56, 3, pp. 218–228. DOI 10.31857/S0002351520030128 (in Russ.)

Zynobia E., Steele P., Ducros A. (2023) *Biocredit Catalogue: A Collection of Biocredit Developers and Schemes*. London: IIED. Available at: <https://www.iied.org/22201iied> (Accessed 11.01.2024)