

А.С. Алексеев, Л.С. Ветров, А.А. Никифоров

**ЛЕСОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ
«БОРЬБА С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ»: ПРОБЛЕМЫ ОБОСНОВАНИЯ,
УГЛЕРОДНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, РИСКИ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ)**

Введение. Лесные пожары являются одним из наиболее важных негативных явлений, приводящих к полной потере или существенному повреждению лесных экосистем. При этом происходит как снижение их поглотительной способности, так и выбросы парниковых газов за счет сгорания органического вещества компонентов (пулов) лесного биогеоценоза, особенно в случаях катастрофических пожаров [Алексеев и др., 2023а, b].

Лесные пожары являются крупной международной проблемой в области охраны природы, так как леса горят по всему земному шару. Например, по данным службы мониторинга атмосферы европейской системы Коперникус, в 2021 г. глобальные выбросы составили 6,45 млрд. тСО₂-экв. Эта величина на 148% больше, чем выбросы от сжигания ископаемого топлива всеми странами Европейского союза в 2020 г., которые составили 2,6 млрд. тСО₂-экв. [Wildfires ..., 2024].

В Российской Федерации лесные пожары наряду со сплошными рубками являются основной причиной потерь углерода сектором «Землепользование, изменения землепользования и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ). На рис. 1 показаны изменения выбросов парниковых газов в этом секторе за период с 1990 по 2023 гг. [Пыжев, 2023; Национальный доклад..., 2025].

Данные рис. 1 показывают наличие некоторого тренда на повышение в величинах выбросов парниковых газов во времени, однако этот тренд статистически недостоверен ($R^2 = 39,6\%$) и сопровождается взлетами и падениями величин выбросов. Считается, что такой тренд в выбросах парниковых газов вследствие лесных пожаров может быть следствием глобальных изменений климата [Wildfires..., 2024].

Данные о выбросах парниковых газов сильно отличаются у разных исследователей. Например, по данным исследований Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН в результате деструктивных лесных пожаров выбросы углерода в лесах Российской Федерации в период за

2002–2009 гг. оцениваются величиной $218 \pm 68 \cdot 10^6$ тС год⁻¹ [Замолодчиков и др., 2013], которая сильно превосходит величины, приведенные на рис. 1. Специалистами по проблематике лесных пожаров отмечается занижение их площадей в официальной статистике [Швиденко, Щепашенко, 2013]. Большие различия в оценках выбросов парниковых газов от лесных пожаров могут быть объяснены различиями в исходных данных: например, площади лесных пожаров сильно различаются по данным дистанционного зондирования Земли и данным официальной статистики. Кроме того, существуют различия в оценках массы органического вещества в пулах лесных экосистем и методиках расчетов выбросов парниковых газов от горения этих пулов вследствие лесных пожаров [Сорокина и др., 2023].

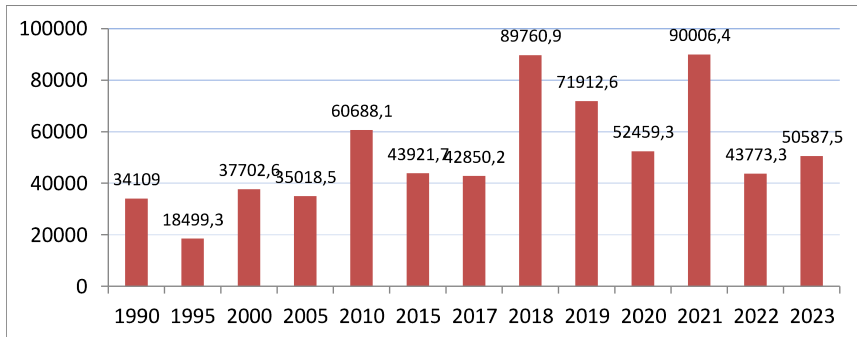


Рис. 1. Выбросы парниковых газов сектором «Землепользование, изменения землепользования и лесное хозяйство» в результате лесных пожаров, тыс. тCO₂-экв.

Fig. 1. Green house gases emissions from the sector «Land use, land use changes and forestry» as a result of forest fires, thousands of tCO₂-eq.

В связи с принятием Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года¹, которая предусматривает в своем целевом (интенсивном) сценарии увеличение поглощения парниковых газов с 535 млн тCO₂-экв. в 2019 г. до 1200 млн тCO₂-экв. к 2050 г., то есть в 2,24 раза, возрос интерес к природным климатическим проектам [Перспективы..., 2023; Птичников и др., 2023; Ветрова и др., 2025]. Борьба с лесными пожарами в связи с

¹ Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».

этим рассматривается как один из основных лесоклиматических проектов, способных содействовать достижению целей упомянутой стратегии [Фоменко и др., 2022; Птичников, Шварц, 2023; Романовская, 2023].

Несмотря на то, что борьба с лесными пожарами является привлекательным лесоклиматическим проектом, он относительно слабо разработан с точки зрения наличия отечественных или международных стандартов/методологий его обоснования. В наиболее распространенной системе стандартов/методологий Verra, которая обслуживает 80% рынка добровольных природных климатических проектов [Куричев и др., 2023], можно указать две методологии, которые применимы для разработки борьбы с лесными пожарами как лесоклиматического проекта – VM0029 и VM0015. Первая имеет узкую направленность и предназначена для применения на территории так называемых лесов Миомбо² – тропического и субтропического биомов лугов, саванн и кустарников, расположенных в центральной и южной Тропической Африке. Она была дезактивирована 11 сентября 2023 г. в связи с отсутствием проектов, разработанных по этой методологии в течение 5 лет после последней ревизии. Вторая имеет более универсальный характер и может быть применена для условий нашей страны. Среди известных отечественных подходов можно указать методологию, разработанную Институтом глобального климата и экологии РАН и Росгидромета «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе охрана лесов от пожаров»³.

Целью настоящей статьи является анализ борьбы с лесными пожарами как лесоклиматического проекта с акцентом на необходимость при его обосновании учитывать риски, неопределенности, наличие обязательных мероприятий по борьбе с лесными пожарами со стороны органов государственного управления субъектами Российской Федерации и органов управления лесным хозяйством. Также будут представлены расчеты углеродной эффективности такого проекта по двум методологиям, отечественной и зарубежной, и сравнение полученных результатов. Концептуальный анализ борьбы с лесными пожарами как природного климатического проекта будет проведен на необходимых материалах и статистических данных Красноярского края.

² Миомбо – слово на языке суахили, обозначающее брахистегию, род деревьев, включающий большое количество видов.

³ Методология реализации климатического проекта № 0011 «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе охрана лесов от пожаров» Разработчик: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля. Версия 2.0. 24 августа 2023 г. URL: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20%E2%84%960011_rus.pdf (дата обращения: 10.06.2025).

Материалы и методика исследования. По данным государственного лесного реестра, на 01.01.2018 земли лесного фонда Красноярского края составляют 158743,2 тыс. га.

Согласно Лесному плану⁴ земли лесного фонда с точки зрения борьбы с лесными пожарами распределяются следующим образом: зона наземного обнаружения и тушения охватывает 7673,1 тыс. га (4,8%), зона лесоавиационных работ – 151070,11 тыс. га (95,2%). В последней выделяются: зона авиационного обнаружения и тушения – 30106,04 тыс. га – (19,0%) и зона, где используется исключительно космическое обнаружение и преимущественно авиационное тушение – 120964,07 тыс. га (76,2%).

Структура горимости лесов Красноярского края в течение календарного года следующая: в апреле возникает 2,0% от всех лесных пожаров, в мае – 35,0%, в июне – 22,0%, в июле – 26,0%, в августе – 15,0% и в сентябре – 1,0%; в октябре-ноябре возникают единичные случаи пожаров.

Статистические данные о площадях лесных пожаров за период с 2007 по 2022 гг. приведены на рис. 2. Данные получены от Центра лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов ВНИИЛМ. За анализируемый период пожарами пройдено 3 746 634,6 га.

Как видно из данных рис. 2, во временной динамике площадей лесных пожаров присутствует положительный тренд, т. е. в последние годы площадь лесных пожаров увеличивается, однако такое увеличение не является статистически значимым ($R^2 = 33,6\%$). Тем не менее перед использованием этих данных для обоснования базовой и проектной линий лесоклиматического проекта необходимо проверить временной ряд площадей лесных пожаров на случайность. В противном случае, если изменения площадей будут не случайными, тренд на их увеличение будет необходимо использовать при обосновании базовой и проектных линий в расчетах углеродной эффективности борьбы с лесными пожарами.

Временной ряд данных о площадях пожаров был проверен на случайность происходящих изменений с помощью медианного теста [Севастьянов, 1982]. Критерий случайности временного ряда, основанный на его медиане, проверяется следующим образом:

1. Временной ряд упорядочивается по возрастанию площадей пожаров от минимальной до максимальной: $x_1 > x_2 > \dots > x_N$;

⁴ Лесной план Красноярского края на 2019-2028 гг. (с изменениями и дополнениями). Утвержден губернатором Красноярского края 21.12. 2018 г. указом № 332-уг.

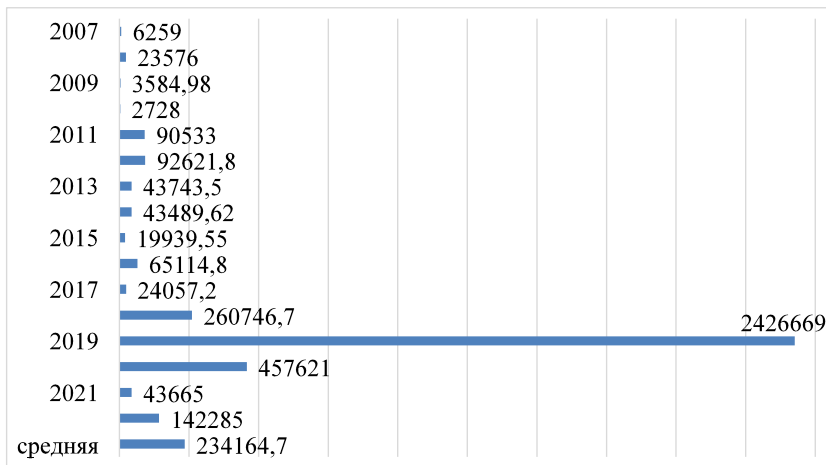


Рис. 2. Площади пожаров (га) в Красноярском крае за 2007–2022 гг.

Fig. 2. Areas of forest fires in the Krasnoyarsk region in 2007–2022

2. Определяется медиана: в случае нечетного числа членов ряда медиана равна:

$$x_{med} = X_{\frac{N+1}{2}}, \quad (1)$$

в случае четного числа:

$$x_{med} = \frac{1}{2}(x_{\frac{N}{2}} + x_{\frac{N}{2}+1}), \quad (2)$$

3. Сравнивая члены исходного ряда с медианой, строится ряд y_t по следующему правилу:

$$y_t = \begin{cases} +, & \text{если } x_t > x_{med}, \\ 0, & \text{если } x_t = x_{med}, \\ -, & \text{если } x_t < x_{med}, \end{cases} \quad (3)$$

Далее в этой последовательности нули не учитываются;

4. Вычисляется статистика для теста (тестовая статистика):

$$Z = \frac{R - \bar{R}}{s_R}, \quad (4)$$

здесь $\bar{R}$ – ожидаемое число положительных n_1 (отрицательных n_2) членов в ряду y_t ; R – фактическое число положительных (отрицательных) членов в

ряду y_i ; S_R – стандартное отклонение числа положительных (отрицательных) членов в ряду y_i :

$$\bar{R} = \frac{2 * n_1 * n_2}{n_1 + n_2} + 1, \quad (5)$$

$$s_R^2 = \frac{2 * n_1 * n_2 (2 * n_1 * n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2 * (n_1 + n_2 - 1)}. \quad (6)$$

5. Проверка на случайность. Если выполнено следующее неравенство, то ряд случайный:

$$|Z| < Z_{1-\alpha/2}. \quad (7)$$

При уровне значимости 5% и $n_1 > 10$, $n_2 > 10$, $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$.

Медианный тест для анализируемого временного ряда проверялся с помощью пакета прикладных программ STATGRAPHICS 18.0. Медианный тест показал, что проанализированный временной ряд площадей пожаров оказался случайным, что необходимо принимать во внимание при обосновании борьбы с лесными пожарами как лесоклиматического проекта в области лесных отношений. Конкретно это означает, что средняя за период не менее 10 лет ежегодная площадь лесных пожаров может быть использована в качестве базовой линии проекта, как это рекомендуется в данном случае отечественной методологией [Коротков, 2022]⁵. В нашем случае временной ряд составляет 16 лет, средняя ежегодная площадь пожаров равна 234 164,7 га/год, ошибка среднего значения – 61,2%. Проектная деятельность должна обеспечивать снижение выбросов парниковых газов ниже этой величины, определяемой указанной площадью лесных пожаров. В условиях, когда анализ осуществляется для территории всего Красноярского края, а не его части, мы будем рассматривать два варианта снижения горимости лесов в результате проектной деятельности – на 30 и 50% ниже средней.

Расчет выбросов парниковых газов при лесных пожарах производился в двух вариантах, в соответствии с методикой МПР⁶, которая учтена в отечественной методологии⁷, и по международной методологии⁸.

⁵ Методология реализации климатического проекта № 0011 «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе охрана лесов от пожаров» Разработчик: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля. Версия 2.0. 24 августа 2023 г. URL: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20%E2%84%960011_rus.pdf (дата обращения: 10.06.2025)

⁶ Методика количественного определения выбросов парниковых газов и поглощения парниковых газов. Утверждена приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 371 от 27 мая 2022 г.

В соответствии с методикой МПР общие потери углерода для покрытых лесом земель при деструктивных лесных пожарах определяются как сумма потерь по четырем пулам (биомассы, мертвой древесины, подстилки и почвы) по следующей формуле (8):

$$B = S_F \left(\frac{CP_a + CD_a}{S_a} + \left(\frac{CL_a}{S_a} - MCL_{0a} \right) + \left(\frac{CS_a}{S_a} - MCS_{0a} \right) \right), \quad (8)$$

где B – общие потери углерода для покрытых лесом земель при деструктивных лесных пожарах, тонн С; S_F – годовая площадь деструктивных лесных пожаров, га год⁻¹; CP_a – суммарный запас углерода биомассы на покрытых лесом землях, тонн С; CD_a – суммарный запас углерода мертвой древесины на покрытых лесом землях, тонн С; CL_a – суммарный запас углерода подстилки на покрытых лесом землях, тонн С; MCL_{0a} – средний запас углерода подстилки для 0-возрастной группы (временно не покрытые лесом земли), рассчитанный с учетом соотношения площадей преобладающих пород на покрытых лесом землях, тонн С га⁻¹, составляет 4,2; CS_a – суммарный запас углерода почвы на покрытых лесом землях, тонн С; MCS_{0a} – средний запас углерода почвы для 0-возрастной группы (временно не покрытые лесом земли), рассчитанный с учетом соотношения площадей преобладающих пород на покрытых лесом землях, тонн С га⁻¹, составляет 98,9; S_a – суммарная площадь покрытых лесом земель, га.

Выбросы парниковых газов CO₂, CH₄, N₂O от низовых пожаров рассчитываются по формуле (9):

$$L_{\text{п}} = A * M * C_f * G_{\text{ef}} * 10^{-3}, \quad (9)$$

где $L_{\text{п}}$ – количество выбросов от пожара, тонн каждого парникового газа; A – площадь, пройденная пожаром, га; M – масса доступного для горения топлива (биомасса, подстилка и мертвая древесина), тонн га⁻¹; C_f – коэффициент сгорания, безразмерный, могут быть использованы значения 0,43

⁷ Методология реализации климатического проекта № 0011 «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе охрана лесов от пожаров» Разработчик: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля. Версия 2.0. 24 августа 2023 г. URL: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20%E2%84%960011_rus.pdf (дата обращения: 10.06.2025).

⁸ VM0015 Methodology for Avoided Unplanned Deforestation. Approved VCS Methodology. Version 1.1 03 December 2012 Sectoral Scope 14. URL: <https://verra.org/wp-content/uploads/imported/methodologies/VM0015-Methodology-for-Avoided-Unplanned-Deforestation-v1.1.pdf> (дата обращения: 16.07.2022).

для верхового пожара и 0,15 для низового пожара в бореальных лесах; G_{ef} – коэффициент выбросов, г кг^{-1} сжигаемого сухого вещества.

Согласно методологии VM0015 для оценки выбросов парниковых газов от лесных пожаров необходимо установить среднюю долю сгоревшей массы органического вещества в каждом пуле углерода ($P_{t,p}$) и среднюю эффективность сгорания каждого пула (CE_p) по формуле (10):

$$ECO2_t = F_t * \sum_{p=1}^p (Cp_t * Pt_p * CE_p), \quad (10)$$

где $ECO2_t$ – выбросы CO_2 на гектар от лесных пожаров в год t , т CO_2 -экв./га; F_t – доля площади лесных пожаров за исторический учетный период (т. к. рассматриваем только площади лесных пожаров, то $F_t=1$), безразмерный; Cp_t – средний запас углерода на гектар в пуле углерода p в год t , т CO_2 -экв./га; Pt_p – средняя доля сжигаемой массы в пуле углерода p , безразмерный; CE_p – средняя эффективность сгорания пула углерода p , безразмерный; p – пул углерода, который может гореть (надземная биомасса, валежная древесина, подстилка); $t = 1, 2, 3, \dots, T$, год предполагаемого периода проекта.

Эффективность сгорания может быть выбрана из Руководства по ЗИЗЛХ МГЭИК [Руководящие..., 2003]; если это невозможно сделать, следует использовать рекомендованное значение, равное 0,5. Отношение азота к углероду (NCR) приблизительно равно 0,01.

Лесные пожары являются источниками выбросов парниковых газов (ПГ) CH_4 и N_2O . На основе Руководства для национальных кадастров парниковых газов [2019..., 2024] их выбросы в результате лесных пожаров оцениваются по формуле (11):

$$Etot_t = EN2O_t + ECH4_t, \quad (11)$$

где $Etot_t$ – суммарные выбросы ПГ от лесных пожаров в году t , т CO_2 -экв. год^{-1} ; $EN2O_t$ – выбросы N_2O от лесных пожаров в год t , т CO_2 -экв. год^{-1} ; $ECH4_t$ – выбросы CH_4 от лесных пожаров в год t , т CO_2 -экв. год^{-1} .

$$EN2O_t = ECO2_t * 12/44 * NCR * ER_{N2O} * 44/28 * GWP_{N2O}, \quad (12)$$

$$ECH4_t = ECO2_t * 12/44 * ER_{CH4} * 16/12 * GWP_{CH4}, \quad (13)$$

где NCR – отношение азота к углероду, безразмерный; ER_{N2O} – коэффициент выбросов для N_2O , безразмерный; ER_{CH4} – коэффициент выбросов для CH_4 , безразмерный; GWP_{N2O} – потенциал глобального потепления для N_2O , безразмерный, равен 298; GWP_{CH4} – потенциал глобального потепления для CH_4 , безразмерный, равен 25.

Борьба с лесными пожарами как лесоклиматический проект имеет при своем осуществлении значительные риски, которые оценивались в соответствии с методикой *VCS AFOLU Non-Permanence Risk Tool* [VCS..., 2019]. Факторы риска классифицируются по трем категориям: внутренние, внешние и природные риски, – в свою очередь состоящим из подкатегорий, каждой из которой по специально разработанным шкалам присваивается балл. Общий рейтинг риска для каждой категории определяется путем суммирования рейтингов для каждой подкатегории, входящей в нее. Отдельные подкатегории могут иметь отрицательные значения баллов. Несмотря на это, общий рейтинг для любой категории не может быть меньше нуля.

Категория «внутренние риски» включает в себя четыре подкатегории: управление проектом; финансовая жизнеспособность; альтернативная стоимость; длительность проекта. Категория «внешние риски» включает в себя три подкатегории: права собственности и доступа / использования ресурсов; вовлечение местного сообщества; политический риск. Категория «природные риски» включает оценку по следующим группам природных рисков: пожары; вспышки болезней и вредителей; экстремальные погодные условия; геологический риск; другие природные риски. Оценка природных рисков должна проводиться на основании данных наблюдений, исторических данных, рецензируемой научной литературы или данных дистанционного зондирования Земли. Суммарное количество баллов определяется по всем трем категориям. В случае, если общий рейтинг риска превышает 60 баллов, риск проекта считается неприемлемо высоким.

Борьба с лесными пожарами имеет кроме рисков существенные неопределенности в определении объемов сокращения выбросов парниковых газов. В настоящем исследовании оценка неопределенности рассчитана по величине стандартной ошибки средней годовой площади лесного пожара в регионе, на основе которой вычисляются объемы выбросов и сокращений выбросов парниковых газов.

Результаты исследования и обсуждение. Средняя площадь лесных пожаров в Красноярском крае за изучаемый период составляет 234164,7 га/год, в том числе деструктивных пожаров – 18012,7 га/год, низовых – 216 152,0 га/год. Эти площади служат основанием расчета базовой линии лесоклиматического проекта.

Выбросы парниковых газов при пожарах на покрытых лесом землях, рассчитанные по методике МПР, при площади деструктивных пожаров 18012,7 га составляют 4 114 693,4 тCO₂-экв. год⁻¹ (рис. 3).

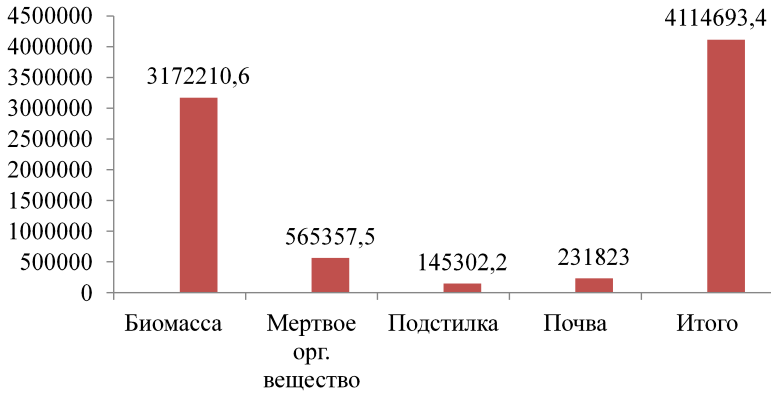


Рис. 3. Выбросы парниковых газов пулами лесных экосистем при деструктивных пожарах

Fig. 3. Carbon dioxide emissions in various pools during destructive forest fires

Объем выбросов парниковых газов при низовых пожарах на площади 216 152,0 га/год по методике МПР составляет 7 364 416,6 тонн CO₂-экв. год⁻¹ (рис. 4).

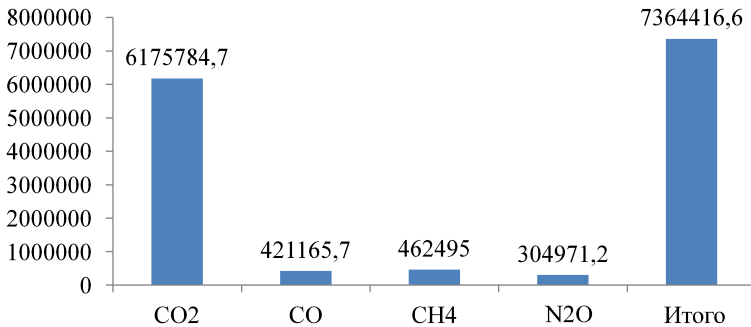


Рис. 4. Выбросы парниковых газов от низовых пожаров

Fig. 4. Greenhouse gas emissions from grassroots fires

Суммарные выбросы парниковых газов за год при пожарах на покрытых лесом землях при средней площади лесных пожаров 234 164,7 га/год в Красноярском крае составляют: по методике МПР – 11 479 110,0 тонн CO₂-экв. год⁻¹, по методологии VCS – 4 477 563,5 тонн CO₂-экв. год⁻¹, т. е. в 2,5 раза меньше.

При расчете сокращений выбросов парниковых газов в результате проектной деятельности учитываются, во-первых, требования Указа Президен-

та РФ, который требует от Правительства РФ и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации обеспечить снижение площадей гарей на землях лесного фонда в 2022–2030 гг. минимум на 50% по сравнению с уровнем 2021 г. Во-вторых, сверх этих требований, для обеспечения дополнительности проекта предусматривается сокращение площади лесных пожаров в двух вариантах, на 30% и на 50% от сокращенной средней в соответствии с предписанием Указа Президента (табл. 1). В-третьих, достигнутые сокращения выбросов уменьшаются (редуцируются) на величину рисков и неопределенностей. Оценка неопределенности равна статистической ошибке в определении среднегодовой площади лесных пожаров и принята равной 61% (точное значение 61,2%). Неопределенность является следствием чисто случайных причин, вызывающих начало, распространение и прекращение пожаров, как это было установлено путем проверки годичных изменений площадей пожаров с помощью медианного теста.

Количество баллов по результатам оценки рисков проекта составляет 34. Для учета рисков и неопределенностей количество предотвращенных выбросов вследствие борьбы с лесными пожарами сокращается суммарно на 95%, что в конечном итоге позволяет оценить количество верифицированных углеродных единиц ($\text{тCO}_2\text{-экв. год}^{-1}$), получаемых в результате реализации ЛКП.

Результаты расчетов сокращения выбросов парниковых газов в результате реализации проекта в Красноярском крае без учета рисков и неопределенностей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели сокращения площади лесных пожаров и выбросов парниковых газов в результате борьбы с лесными пожарами (на примере Красноярского края)

Indicators for reducing the area of forest fires and greenhouse gas emissions in the Krasnoyarsk Region as a result of forest fires prevention

Средняя площадь пожаров, га	Выбросы тCO ₂ -экв. при средней площади пожаров	Выбросы при сокращении площади пожаров на 50% в соответствии с Указом	Варианты проекта	
			Сокращение выбросов на 30%, т CO ₂ -экв.	Сокращение выбросов на 50%, т CO ₂ -экв.
Методика МПР				
234164,7	11479110,0	5739555,0	1721866,5	2869777,5
Методология VCS				
234164,7	4477563,52	2238781,76	671634,53	1119390,88

Результаты расчета углеродной эффективности борьбы с лесными пожарами с учетом рисков и неопределенностей приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Углеродная эффективность лесоклиматического проекта
«Борьба с лесными пожарами» (на примере Красноярского края)**
**Carbon efficiency of forest fires prevention as a climate project in forestry
(case study for Krasnoyarsk Region)**

Углеродная эффективность борьбы с лесными пожарами, т CO ₂ -экв./га год	
При сокращении площади пожаров на 30%	При сокращении площади пожаров на 50%
Методика МПР	
0,18	0,31
Методология VCS	
0,40	0,95

Из данных табл. 2 следует, что по методике МПР углеродная эффективность после вычета неопределенностей при 30% сокращении средней площади пожаров составит 0,18 т CO₂-экв./га год и 0,31 т CO₂-экв./га год – при 50% сокращении при условии, что ОИВ Красноярского края выполняют сокращение площади пожаров на 50%.

По методологии VCS VM0015 предполагаемая ежегодная редуцируемая углеродная эффективность для первого сценария составляет 0,40 т CO₂-экв./га год, а для второго – 0,95 т CO₂-экв./га год. Таким образом, из этого сравнения видно, что при расчетах по международной методологии углеродная эффективность борьбы с лесными пожарами как лесоклиматического проекта будет почти в 3 раза выше.

Мониторинг для оценки реальных изменений поглощения и выбросов парниковых газов в результате выполнения лесоклиматических проектов проводится 1 раз в 5 лет по методике МПР или 1 раз в 10 лет по международной методологии VCS VM0015, а также после завершения проекта. Для такого лесоклиматического проекта, как борьба с лесными пожарами, такой подход недостаточен в связи с наличием случайных рисков и неопределенностей, поэтому расчеты объемов предотвращенных выбросов и верифицированных углеродных единиц должны осуществляться ежегодно по итогам каждого пожарного сезона. При мониторинге необходимо проводить периодическую оценку запасов углерода в пулах лесных экосистем расчетным методом и методом выборочных полевых обследований. Кроме

этого необходимо учитывать возможность так называемых «утечек», которые в данном случае могут иметь место вследствие перехода лесного пожара с проектной территории на иную.

Заключение. Лесоклиматический проект борьбы с лесными пожарами обладает невысокой редуцированной углеродной эффективностью по двум причинам. Во-первых, борьба с лесными пожарами является обязательной деятельностью для органов исполнительной власти всех уровней, органов государственного управления лесами, арендаторов лесных участков. Во-вторых, этот проект имеет высокий уровень рисков и неопределенностей. Исходя из всех указанных выше обстоятельств редуцированная углеродная эффективность проекта, определенная по двум методикам, составляет от 0,18–0,31 до 0,40–0,95 т CO₂-экв./га·год в зависимости от интенсивности проекта, причем отечественная методика расчетов сокращения выбросов парниковых газов дает более низкий результат.

Представляет интерес сравнение полученных величин углеродной эффективности борьбы с лесными пожарами с данными, имеющимися в научной литературе. Результаты такого сравнения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Углеродная эффективность лесоклиматического проекта борьбы с лесными пожарами по данным разных авторов, т CO₂-экв./га год⁻¹

Carbon efficiency of forest fires prevention as presented by different authors, т CO₂-eq./ha year⁻¹

Авторы, литературный источник, методология			
Коротков, 2022	Фоменко и др., 2022	Настоящее исследование	
		МПП	VM 0015
0,1–0,4	0,87	0,18–0,31	0,40–0,95

Данные табл. 3 говорят о том, что оценки углеродной эффективности борьбы с лесными пожарами как лесоклиматического проекта различаются у разных авторов. Можно отметить, что близки результаты, полученные нами по методике МПП и представленные в [Коротков, 2022], а также полученные по методике VM 0015 и представленные в [Фоменко и др., 2022].

В результате проведенного анализа было установлено, что временной ряд площадей пожаров в Красноярском крае имеет случайный характер, что в значительной степени может определяться климатическими характери-

стиками конкретного года, особенно в пожароопасный период, и лесорастительными условиями проектной территории. Поэтому кроме учтенных в статье рисков и неопределенностей необходимо принимать во внимание классы пожарной опасности по условиям погоды в конкретный год и классы пожарной опасности по лесорастительным условиям на проектной территории [Энциклопедия..., 2006]. При их учете будет возможно избежать таких ситуаций, когда площадь пожаров снизилась ниже средней и появилось основание для начисления углеродных единиц, однако это снижение явилось следствием климатических условий и произошло бы без осуществления проектной деятельности. С другой стороны, есть лесорастительные условия, при которых пожары возможны только при особо неблагоприятных погодных условиях и их отсутствие также не зависит от проектной деятельности.

Как климатический проект в сфере лесных отношений, направленный на сокращение выбросов парниковых газов, борьба с лесными пожарами имеет степень рисков и неопределенностей намного выше, чем у других лесоклиматических проектов. Кроме того, проект требует создания эффективной системы ежегодного мониторинга площадей, пройденных пожарами, чтобы избежать неопределенностей и рисков при валидации проекта и верификации углеродных единиц.

Вместе с этим, учитывая особую актуальность борьбы с лесными пожарами, большие площади ежегодно повреждаемых пожарами лесов, дополнительные эффекты проекта, заключающиеся в сохранении многочисленных экологических функций и полезностей лесов, например, биологического разнообразия, этот проект является привлекательным и при правильной организации может быть эффективным.

Вклад авторов. Алексеев А.С. – постановка проблемы, выбор и обоснование применяемых методов исследований, описание результатов, сравнительный анализ и формирование заключения и выводов; Ветров Л.С. – оценка потерь запасов углерода в соответствии с «Методикой количественного определения выбросов парниковых газов и поглощения парниковых газов», утвержденной приказом МПР № 371 от 27.05.2022 г.; Никифоров А.А. – количественная оценка выбросов парниковых газов по международной методологии VCS VM0015 Версии 1.1 «Методология предотвращения незапланированного обезлесения».

Сведения о финансировании исследования. Настоящее исследование выполнено в рамках соглашения о сотрудничестве и при финансовой поддержке ПАО «НК «Роснефть».

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Россий-

ской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Алексеев А.С., Ветров Л.С., Никифоров А.А. Борьба с лесными пожарами как климатический проект в области лесных отношений (на примере Красноярского края) // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: мат. VIII Всерос. науч.-тех. конф. СПб., 2023а. С. 115–117.

Алексеев А.С., Черниковский Д.М., Ветров Л.С., Гурьянов М.О., Михайлова А.А., Никифоров А. А. Лесоклиматические проекты: глоссарий основных понятий, терминов и определений: учеб. пособ. СПб.: СПбГЛТУ, 2023б. 52 с.

Ветрова М.А., Пахомова Н.В., Львова Н.А., Лемешко Н.А. Климатические проекты российского бизнеса: методология обоснования и рамочные условия успешной реализации // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2025. Вып. 41 (1). С. 66–92. DOI: 10.21638/spbu05.2025.104

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс // Лесоведение. 2013. № 5. С. 36–49.

Коротков В.Н. Лесные климатические проекты в России: ограничения и возможности // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. Vol. 7 (4). DOI: 10.21685/2500-0578-2022-4-3.

Куричев Н.К., Птичников А.В., Шварц А.В., Кренке А.Н. Природно-климатические проекты в России: ключевые проблемы и условия успеха // Известия РАН: серия географическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 619–636. DOI: 10.31857/S2587556623040040.

Национальный доклад о кадастре выбросов антропогенных парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990–2023 гг. Ч. 1. М., 2025. 422 с.

Перспективы реализации лесоклиматических проектов: потенциал регионов Енисейской Сибири: флагманский аналитический доклад. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2023. 160 с.

Птичников А.В., Шварц Е.А., Попова Г.А., Байбар А.С. Стратегия низкоуглеродного развития России и роль лесов в её реализации // Вестник РАН. 2023. Т. 93, № 1. С. 48–61. DOI: 10.31857/S0869587323010073.

Птичников А.В., Шварц Е.А. Декарбонизация с помощью природных решений: национальная политика и международная практика // Известия РАН: серия географическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 479–496. DOI: 10.31857/S2587556623040088.

Пыжжев А.И. Экономические и природные факторы пространственной неоднородности выбросов углерода в лесах России в 2010-х годах // Известия РАН: серия географическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 637–648. DOI: 10.31857/S258755662304009X.

Романовская А.А. Подходы к реализации экосистемных климатических проектов в России // Известия РАН: серия географическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 463–478. DOI: 10.31857/S2587556623040118.

Руководящие указания МГЭИК по эффективной практике для ЗИЗЛХ. 2003. 649 с.

Севастьянов Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1982. 256 с.

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 РАН: серия географическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 1–15. DOI: 10.31857/S2587556623040131.

Фоменко Г.А., Романовская А.А., Фоменко М.А., Лошадкин К.А., Климов Е.В., Липка О.Н., Коротков В.Н., Алдошина А.С. Лесные климатические проекты: возможности и проблемы реализации ESG -подхода. Часть 2 // Проблемы региональной экологии. 2022. № 3. С. 65–74. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-3-65-74.

Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.

Энциклопедия лесного хозяйства. Т. 1. М., 2006. 424 с.

2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html> (дата обращения: 23.10.2024).

VCS AFOLU Non-Permanence Risk Tool v.4.0. 2019. 22 p. URL: https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2024/09/Anexo_3_-AFOLU_Non-Permanence_Risk-Tool_v4.0-1.pdf (дата обращения: 16.06.2025).

Wildfires wreaked havoc in 2021, CAMS tracked their impact URL: <https://atmosphere.copernicus.eu/wildfires-wreaked-havoc-2021-cams-tracked-their-impact> (дата обращения: 09.04.2024).

References

2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html> (accessed: 23.10.2024).

Alekseev A.S., Vetrov L.S., Nikiforov A.A. Fighting forest fires as a climate project in the field of forest relations (on the example of Krasnoyarsk Region). *Forests of Russia: policy, industry, science, education: mat. of the VIII All-Russ. sci.-tech. conf.* St. Petersburg, 2023a, pp. 115–117. (In Russ.)

Alekseev A.S., Chernikhovsky D.M., Vetrov L.S., Guryanov M.O., Mikhailova A.A., Nikiforov A.A. Forest climate projects: glossary of basic concepts, terms and definitions. St. Petersburg: SPbGLTU, 2023b. 52 p. (In Russ.)

Encyclopedia of Forestry. Vol. 1. Moscow, 2006. 424 p. (In Russ.)

Fomenko G.A., Romanovskaya A. A., Fomenko M. A., Loshadkin K. A., Klimov E. V., Lipka O. N., Korotkov V. N., Aldoshina A. S. Forest climate projects: opportunities and

challenges of implementing the ESG approach. Part 2. *Problems of regional ecology*, 2022, no. 3, pp. 65–74. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-3-65-74. (In Russ.)

Korotkov V.N. Forest climate projects in Russia: limitations and opportunities. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2022, vol. 7 (4). DOI: 10.21685/2500-0578-2022-4-3. (In Russ.)

Kurichev N.K., Ptichnikov A.V., Shvarts E.A., Krenke A.N. Nature-Based Offsets in Russia: Key Challenges and Conditions for Success. *Izvestiya RAS. Geographical series*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 619–636. DOI: 10.31857/S2587556623040040. (In Russ.)

National report on the inventory of anthropogenic greenhouse gases emissions from sources and their absorption by sinks in 1990–2023. Part 1. Moscow, 2025. 422 p. (In Russ.)

Prospects for the implementation of forest-climatic projects: the potential of the regions of Yensei Siberia: a flagship analytical report. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2023. 160 p. (In Russ.)

Ptichnikov A.V., Shvarts E.A. Decarbonization through natural solutions: national policy and international practice. *Izvestiya RAS. Geographical series*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 479–496. DOI: 10.31857/S2587556623040088. (In Russ.)

Ptichnikov A.V., Shvarts E.A., Popova G.A., Baibar A.S. The strategy of low-carbon development of Russia and the role of forests in its implementation // *Bulletin of the RAS*, 2023, vol. 93, no. 1, pp. 48–61. DOI: 10.31857/S0869587323010073. (In Russ.)

Pyzhev A.I. Economic and natural factors of spatial heterogeneity of carbon emissions in Russian forests in the 2010s. *Izvestiya RAS. Geographical series*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 637–648. DOI: 10.31857/S258755662304009X. (In Russ.)

Romanovskaya A.A. Approaches to the implementation of ecosystem climate projects in Russia. *Izvestiya RAS. Geographical series*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 463–478. DOI: 10.31857/S2587556623040118. (In Russ.)

Sevastyanov B.A. Course in probability theory and mathematical statistics. Moscow: Nauka, 1982. 256 p. (In Russ.)

Shvidenko A.Z., Shchepachenko D.G. Climatic changes and forest fires in Russia. *Lesovedenie*, 2013, no. 5, pp. 50–61. (In Russ.)

Sorokina D.D., Ptichnikov A.V., Romanovskaya A.A. Comparative analysis and evaluation of methods for calculating greenhouse gas uptake by forest ecosystems used in the Russian Federation. *Izvestiya RAS. Geographical series*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 1–15. DOI: 10.31857/S2587556623040131. (In Russ.)

VCS AFOLU Non-Permanence Risk Tool v.4.0. 2019. 22 p. URL: https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2024/09/Anexo-3_-AFOLU_Non-Permanence_Risk-Tool_v4.0-1.pdf (accessed: 16.06.2025).

Vetrova M.A., Pakhomova N.V., Lvova N.A., Lemeshko N.A. Climate projects of Russian business: Justification methodology and framework conditions for successful implementation. *St. Petersburg University Journal. Economic Studies*, 2025, vol. 41 (1), pp. 66–92. DOI: 10.21638/spbu05.2025.104 (In Russ.)

Wildfires wreaked havoc in 2021, CAMS tracked their impact. URL: <https://atmosphere.copernicus.eu/wildfires-wreaked-havoc-2021-cams-tracked-their-impact> (accessed: 09.04.2024).

Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Shulyak P.P., Chestnykh O.V. The influence of fires and timber harvesting on the coal balance. *Lesovedenie*, 2013, no. 5, pp. 36–49. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 10.12.2024

Алексеев А.С., Ветров Л.С., Никифоров А.А. Лесоклиматический проект «Борьба с лесными пожарами»: проблемы обоснования, углеродная эффективность, риски и неопределенности (на примере Красноярского края) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 142–161. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.142-161

Лесные пожары относятся к одним из основных процессов, как природного, так и антропогенного происхождения, приводящих к большим объемам выбросов парниковых газов в атмосферу. Лесные пожары приводят к полному или частичному разрушению лесных экосистем. При этом происходит как снижение их поглотительной способности, так и выбросы парниковых газов за счет сгорания органического вещества в основных пулах лесных экосистем. Деятельность по охране лесов от пожаров может являться одним из видов лесоклиматических проектов (ЛКП) в рамках лесных отношений. В процессе реализации ЛКП проводится комплекс мероприятий, направленных на предупреждение возникновения пожаров в лесах, ограничение их распространения, снижение пожарной опасности, повышение пожарной устойчивости лесов, своевременное обнаружение и тушение лесных пожаров. В статье рассмотрены вопросы определения базовой и проектной линий при обосновании ЛКП, две методики по количественному определению объема сокращения выбросов парниковых газов при борьбе с лесными пожарами. Первая методика представлена в методических указаниях, утвержденных распоряжением МПР № 371 от 27.05.2022 г., и в методологии реализации климатического проекта № 0011 «Улучшенное управление лесным хозяйством, в том числе охрана лесов от пожаров». Вторая методика представлена в международном стандарте *ICS VM0015 «Методология предотвращения незапланированного обезлесения»*. Обоснование базовой линии выполнено по методу исторических средних изменений. Для этого были использованы статистические данные о площадях лесных пожаров за период с 2007 по 2022 гг. В лесоклиматическом проекте рассмотрено два сценария сокращения площади лесных пожаров, на 30% и на 50% от средней ежегодной площади. Также в сценариях учтена необходимость сокращения площади лесных пожаров в соответствии с Указом Президента РФ от

15 июня 2022 г. Проведена оценка неопределенностей и рисков ЛКП. В результатах исследования представлены количественные оценки объемов возможного снижения выбросов парниковых газов в результате борьбы с лесными пожарами по двум методикам, которые дали различные результаты. Оценена углеродная эффективность ЛКП и проведено сравнение полученных результатов с другими оценками, имеющимися в научной литературе.

Ключевые слова: лесные пожары, лесоклиматический проект, парниковые газы, базовая линия, проектная линия, неопределенности, риски, консервативный подход.

Alekseev A.S., Vetrov L.S., Nikiforov A.A. Forest-climatic project on forest fire control: problems of justification, carbon efficiency, risks and uncertainties (on the example of the Krasnoyarsk region). *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 255, pp. 142–161 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.142-161

Forest fires are one of the main processes, both natural and anthropogenic, leading to large amounts of greenhouse gas emissions into the atmosphere. Forest fires lead to the complete or partial destruction of forest ecosystems. At the same time, there is a decrease in their absorption capacity, as well as greenhouse gas emissions due to the combustion of organic matter in the main pools of forest ecosystems. Forest fire protection activities can be one of the types of forest-climatic projects (FCP) within the framework of forest relations. In the process of implementing the FCP, a set of measures is being carried out aimed at preventing the occurrence of fires in forests, limiting their spread, reducing fire danger, increasing forest fire resistance and timely detection and extinguishing of forest fires. The article discusses the issues of determining the basic and design lines in the justification of the paintwork, two methods for quantifying the amount of greenhouse gas emissions reduction in the fight against forest fires. The first method is presented in the methodological guidelines approved by the decree of the Ministry of Natural resources and ecology of Russian Federation No. 371 dated 05/27/2022 and presented in the methodology for the implementation of climate project No. 0011 «Improved forestry management, including protection of forests from fires.» The second method is presented in the international standard VCS VM0015 «Methodology for preventing unplanned deforestation». The baseline was justified using the method of historical average changes. For this purpose, statistical data on the area of forest fires for the period from 2007 to 2022 were used. The forest climate project considers two scenarios for reducing the area of forest fires, by 30% and by 50% of the average annual area. The scenarios also take into account the need to reduce the area of forest fires in accordance with the Decree of the President of the Russian Federation on June 15, 2022. An assessment of the uncertainties and risks of the FCP was carried out. The results of the study provide quantitative estimates of the amount of possible reduction in greenhouse gas emissions as a result of forest fire control using two methods that have yielded different results. The

carbon efficiency of the project was evaluated and the results obtained were compared with other estimates available in the scientific literature.

Keywords: forest fires, forest climate project, greenhouse gases, baseline, project line, uncertainties, risks, conservative approach.

АЛЕКСЕЕВ Александр Сергеевич – профессор, заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор географических наук. SPIN-код: 8115-9103. ORCID: 0000-0001-8795-2888.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a_s_alekseev@mail.ru

ALEKSEEV Aleksandr S. – DSc (Geography), professor, head of the department of forest inventory, management and GIS, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8115-9103. ORCID: 0000-0001-8795-2888.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a_s_alekseev@mail.ru

ВЕТРОВ Леонид Степанович – доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 9135-1710. ORCID: 0009-0000-2524-8617

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: leotax@mail.ru

VETROV Leonid S. – PhD (Agriculture), Associate Professor of the department of forest inventory, management and GIS, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-код: 9135-1710. ORCID: 0009-0000-2524-8617

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: leotax@mail.ru

НИКИФОРОВ Александр Александрович – доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 5284-7143. ORCID: 0000-0001-7048-1135.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: alex_nikiforov@mail.ru

NIKIFOROV Aleksandr A. – PhD (Agriculture), Associate Professor of the department of forest inventory, management and GIS, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 5284-7143. ORCID: 0000-0001-7048-1135.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: alex_nikiforov@mail.ru