

Метод оценки эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом параметров лесотранспортной сети

Р.Н. Ковалев^{1a}, И.М. Еналеева-Бандура^{2b}, А.Н. Баранов^{2c}, В.А. Лозовой^{2d},
О.И. Григорьева^{3e}, И.В. Григорьев^{4f}

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

² Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва, пр. «Красноярский рабочий», 31, Красноярск, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, 3, Якутск, Республика Саха (Якутия)

^a kir9624@yandex.ru, ^b melnikov1978@inbox.ru, ^c aleksandr-baranov-55@mail.ru,

^d lzovoyva@sibsau.ru, ^e grigoreva_o@list.ru, ^f silver73@inbox.ru

^a <https://orcid.org/000-0001-8928-8765>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-7032-9512>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-1333-6285>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-9576-4884>, ^e <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Статья поступила 07.11.2022, принята 18.11.2022

В современных экономических условиях, учитывая принципы устойчивого развития территорий лесного фонда, перед отраслью стоит задача обеспечения многоцелевого рационального непрерывного, неистощимого лесопользования. Очевидно, что одним из ключевых факторов достижения устойчивого управления лесами и лесопользованием является эффективность лесовосстановительного процесса. При этом транспортная сеть на территории лесного фонда имеет решающее значение, поскольку без нее невозможно качественное воспроизводство лесов. Поэтому одной из важнейших задач в условиях экологической направленности современного лесопользования является разработка моделей оценивания эффективности лесовосстановительных работ на основе комплексного подхода в условиях многоцелевого лесопользования с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда. В этой связи в статье произведен анализ основных методологических подходов к обозначенной проблематике. Посредством произведенного анализа выявлено, что существующие методики оценивания эффективности лесовосстановительных работ носят локальный характер. Данные методики не обеспечивают комплексного подхода к лесовосстановительному процессу и не учитывают ни многоцелевого характера использования лесных ресурсов, ни влияния уровня развития транспортной сети на качество лесовосстановительных мероприятий. Отмеченное обстоятельство определяет научную новизну и актуальность представленной в статье методологической разработки. В основе представленного методологического аппарата лежит инструментарий экономико-математического моделирования в контексте комбинаторного подхода с учетом динамической составляющей лесовосстановительного процесса. Подобное моделирование наиболее полно отражает специфику и свойства обозначенного процесса. В этой связи разработанная математическая модель эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом уровня развития транспортной сети носит комплексный характер, учитывает многоцелевой аспект использования полезных функций леса, отражает динамику лесного фонда и потоковых процессов, обеспечивает вычисление эффективности проводимых лесовосстановительных мероприятий посредством качественной и количественной оценки на базе эколого-экономического критерия. Модель представлена подробным описанием всех входящих в нее зависимостей. Также в статье обозначена область применения данного методологического аппарата, отмечены его преимущества.

Ключевые слова: оценка эффективности лесовосстановительных мероприятий; лесотранспортная система; земли лесного фонда; уровень развития лесотранспортных систем; многоцелевое лесопользование.

Method for assessing the effectiveness of reforestation measures taking into account the parameters of the forest transport network

R.N. Kovalev^{1a}, I.M. Enaleeva-Bandura^{2b}, A.N. Baranov^{2c}, V.A. Lozovoy^{2d},
O.I. Grigorieva^{3e}, I.V. Grigoriev^{4f}

¹ Ural State Forestry Engineering University; 37, Siberian Tract St., Yekaterinburg, Russia

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev; 31, Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, Russia

³ St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

⁴ Arctic State Agrotechnological University; 3 km, Sergelyakhskoe Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha

^a kir9624@yandex.ru, ^b melnikov1978@inbox.ru, ^c aleksandr-baranov-55@mail.ru,

^d lzovoyva@sibsau.ru, ^e grigoreva_o@list.ru, ^f silver73@inbox.ru

^a <https://orcid.org/000-0001-8928-8765>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-7032-9512>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-1333-6285>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-9576-4884>, ^e <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Received 07.11.2022, accepted 18.11.2022

In modern economic conditions, taking into account the principles of sustainable development of forest fund territories, the industry is faced with the task of ensuring multi-purpose, rational, continuous, inexhaustible forest management. It is obvious that one of the key factors in achieving sustainable forest management and forest use is the efficiency of the reforestation process. At the same time, the transport network on the territory of the forest fund is of decisive importance, since without it, high-quality reproduction of forests is impossible. Therefore, one of the most important tasks, in the context of the ecological orientation of modern forest management, is the development of models for assessing the effectiveness of reforestation work on the basis of an integrated approach in the context of multipurpose forest management, taking into account the level of development of the transport network in the forest fund. In this regard, this scientific article analyzes the main methodological approaches to the indicated problems. The analysis reveals that the existing methods for assessing the effectiveness of reforestation work are of a local nature. These methods do not provide an integrated approach to the reforestation process, and do not take into account either the multipurpose nature of the use of forest resources, or the impact of the level of development of the transport network on the quality of reforestation activities. The noted circumstance determines the scientific novelty and relevance of the methodological development presented in the article. The presented methodological apparatus is based on the tools of economic and mathematical modeling in the context of the combinatorial approach, taking into account the dynamic component of the reforestation process. Such modeling most fully reflects the specificity and properties of the designated process. In this regard, the developed mathematical model of the effectiveness of reforestation measures, taking into account the level of development of the transport network, is of a complex nature; takes into account the multipurpose aspect of using the useful functions of the forest; reflects the dynamics of the forest fund and flow processes; provides the calculation of the effectiveness of the reforestation activities through a qualitative and quantitative assessment based on environmental and economic criteria. The model is presented with a detailed description of all dependencies included in it. Also, in the article the area of application of this methodological apparatus is indicated, its advantages are noted.

Keywords: assessment of the effectiveness of reforestation activities; forest transport system; forest lands; the level of development of forest transport systems; multipurpose forest use.

Введение. Лесовозобновление — это важнейший процесс, обеспечивающий будущее лесной экосистемы и возможность долгосрочного пользования лесом. Масштаб простого воспроизводства лесных ресурсов как условие комплексного управления лесами обеспечивается лесохозяйственными мероприятиями региональных систем управления. Масштаб расширенного воспроизводства обеспечивается набором мероприятий, направленных на повышение продуктивности леса и интенсификации лесопользования.

В рамках требований комплексного управления лесопользование должно обеспечивать как потребность общества в экономической, экологической и социальной полезности лесных ресурсов, так и постоянное воспроизводство всего многообразия экосистем в регионе для нынешнего и будущих поколений. Проблема воспроизводства лесных ресурсов является ключевой, на основе которой решаются другие проблемы лесного комплекса. Важность обозначенного процесса является определяющим условием необходимости производства качественной оценки лесовосстановительных мероприятий. Учитывая обозначенное обстоятельство, необходимо отметить, что качественное проведение отмеченных мероприятий находится в тесной взаимосвязи с лесотранспортными системами на территории лесного фонда, поскольку именно они являются механизмом достижения оптимального уровня искусственного лесовозобновления в целях непрерывного неистощимого лесопользования. В этой связи актуальным научным направлением становится разработка моделей расчета эффективности указанных мероприятий с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда.

Цель работы. В настоящей работе сделана попытка разработать комплексную математическую модель для оценки эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом уровня развития транспортной сети.

Материалы и методы исследования. Формирование транспортных систем вообще и новой дорожной сети на территории земель лесного фонда в частности, несмотря на значительные финансово-материальные вложения в их создание и развитие, являются механизмом достижения доступности лесопользования, которое должно осуществляться на базе устойчивого управления лесами. Устойчивое управление лесами и лесопользованием, в свою очередь, невозможно без качественного проведения лесовосстановительных мероприятий. В этой связи становится очевидной важность оценивания эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом уровня развития лесотранспортных систем на территории лесного фонда на основе принципов устойчивого развития территорий.

Учитывая вышеизложенное, разработка надежных, универсальных методов определения эффективности лесовозобновления с учетом создания и развития лесной дорожной сети на территории земель лесного фонда является актуальным научным направлением. Данное обстоятельство обусловило необходимость анализа научной литературы [1–10 и др.], посредством которого был выявлен локальный характер методов оценивания эффективности лесовосстановительных мероприятий ввиду отсутствия в данных методологических аппаратах комплексного подхода к отмеченной оценке, многоцелевого характера использования лесных ресурсов, учета влияния уровня развития транспортной сети на качество лесовосстановительных мероприятий. Так-

же следует отметить, что предлагаемая в анализируемых методиках оценка лесовосстановительных процессов на гарях и вырубках неоднозначна. Касательно качества проведения указанных мероприятий, согласно [6; 10; 12–16], необходимо обозначить, что лесовосстановление на вырубках, гарях и других не покрытых лесом участках в настоящее время обеспечивается не в полной мере, в основном ввиду отсутствия развитой транспортной сети на территории лесного фонда. Из чего можно заключить, что при оценивании эффективности лесовосстановительных мероприятий необходимо учитывать уровень развития отмеченной сети.

Взаимосвязь уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда и эффективности лесовосстановительных работ приведена на рисунке.

Указанная взаимосвязь определена эффектом синергизма уровня развития транспортной сети, качественным и количественным критериями оценивания проводимых лесовосстановительных мероприятий, посредством которых достигается их эффективность. Следует отметить, что транспортная сеть на территории лесного фонда является механизмом достижения какого-либо вида лесопользования и эффективного лесовосстановления как после лесных пожаров, так и после пользования лесом.

На основе вышеизложенного нами выработан метод оценки эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом параметров лесотранспортной сети, который реализуется посредством комплексной математической модели.

Результаты. В целях описания математического аппарата и всех зависимостей, входящих в комплексную модель оценивания эффективности лесовосстановительных мероприятий, введем понятие «общий эффект от реализации лесовосстановительных мероприятий за весь период освоения территории лесного фонда с учетом планирования лесной транспортной сети».

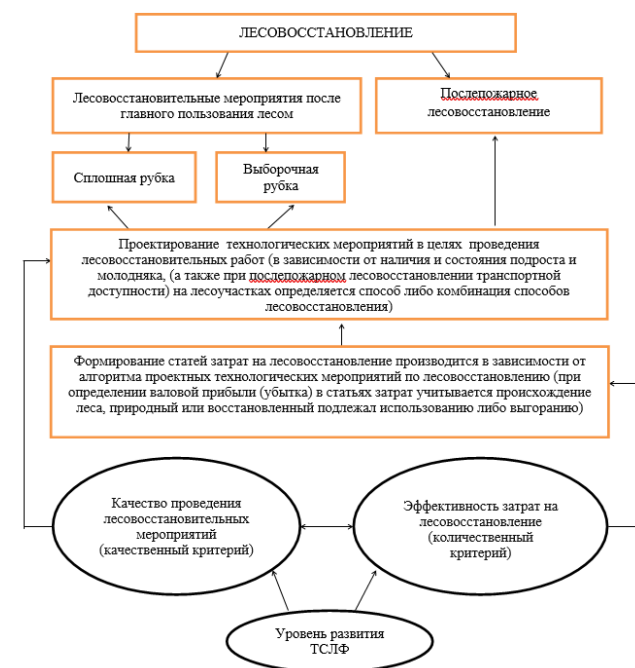


Рис. Взаимосвязь уровня развития транспортной сети и эффективности лесовосстановительных мероприятий

Общий эффект от реализации лесовосстановительных мероприятий за весь период освоения территории лесного фонда с учетом планирования транспортной сети $\mathcal{E}^L(T)$ представляет собой отношение суммарной величины валовой прибыли от реализации древесины $P^{cp}(T)$ и валовой прибыли, включающей в себя доходы от побочного лесопользования, экологических и других полезностей леса $P^{ЭК}(T)$, к затратам на лесовозобновление по l -породам и d -м ресурсам, т. е. обозначенная величина показывает отдачу сегодняшних вложений в лесовосстановление в период t_0 к будущим доходам от комплексного лесопользования в период t_i , и определяет эффективность обозначенных вложений.

Сумму затрат на лесовосстановление можно записать как $\sum_l^L Z_{лв}(T) + \sum_d^D Z_{лв}(T)$.

Данная суммарная величина складывается из консолидированных денежных потоков, затраченных на лесовосстановительные работы по этапам создания и развития транспортной сети (этапам освоения территории лесного фонда) t_i с учетом дисконтирования обозначенных потоков к моменту оценивания.

Формализация вычисления величины общего эффекта от реализации лесовосстановительных мероприятий при условии наличия ТСЛФ может быть задана следующими условиями:

– условие сплошной рубки. В рамках обозначенного условия лес вырубается полностью ради древесины, следовательно, в данном случае показатель $P^{ЭК}(T)$ равен нулю;

– условие выборочной рубки. При данном условии лес вырубается не полностью и пригоден для использования лесных территорий в других целях [17], следовательно, валовая прибыль определяется как сумма данных положительных финансовых результатов от главного и других видов лесопользования — $P^{cp}(T) + P^{ЭК}(T)$;

– условие сохранения лесного фонда. При данном условии лес не вырубается, следовательно, в данном случае показатель $P^{cp}(T)$ равен нулю;

– условие восстановления лесных территорий в послепожарный период. В зависимости от размера негативного влияния лесных пожаров на данные территории, данное условие математически может быть описано либо условием сплошной рубки [18; 19], либо условием выборочной рубки с учетом специфических статей затрат на лесовосстановление в послепожарный период.

Следует отметить, что значение показателей данных валовых прибылей определяется разницей между показателями соответствующих валовых выручек и сопутствующих их получению статей затрат. Касательно приведенных затрат на создание и эксплуатацию ТСЛФ как за весь период освоения территории лесного фонда, так и по этапам строительства транспортной сети, логично заключить следующие. Очевидно, что показатель приведенных затрат на создание и эксплуатацию ТСЛФ (Z_3) должен использоваться в целях получения лишь показателя $P^{cp}(T)$, но это не совсем верное утверждение, поскольку при условии выборочной рубки или же сохранности после лесного пожара части территории лесного фонда частично показатель $P^{ЭК}(T)$ находится в прямой зависимости от наличия ТСЛФ (побочное ле-

сопользование [20], рекреация и т. п.). Таким образом, по-нашему мнению, приведенные затраты на создание и эксплуатацию ТСЛФ, в отличие от других статей затрат (строго соотнесенных по способам получения отмеченных выручек $Z_c(T)$ и $Z_d(T)$), должны вычитаться из суммарной экономической составляющей валовых доходов:

$$\Pi^{cp}(T) + \Pi^{ek}(T) = \left[(B^{cp}(T) - Z_c(T)) + (B^{ek}(T) - Z_d(T)) \right] - Z_3(T), \quad (1)$$

где $Z_c(T)$ — установленные для планируемого периода технически обоснованные нормы расхода сырья, основных и вспомогательных материалов, топлива и энергии, норм выработки и обслуживания рабочих мест, расчетов трудоемкости изготовления продукции и др., а также прогнозных расчетов по изменению уровня заработной платы, цен на сырье, материалы и др., с учетом иных факторов; $Z_d(T)$ — технологические затраты, связанные с побочным лесопользованием, транспортные расходы, заработная плата основных и вспомогательных рабочих и др.; $Z_3(T)$ — включает в себя: затраты на создание ТСЛФ в период времени t_i , затраты на эксплуатацию ТСЛФ в период времени t_i , стоимость дорожно-строительных материалов, полуфабрикатов, конструкций и изделий, транспортные расходы на доставку материалов и рабочих и прочие затраты, связанные со строительством и эксплуатацией транспортной сети на территории лесного фонда.

Отношение, описанное выражением (1), складывается, как уже отмечалось выше, из консолидированных дисконтированных денежных потоков валовых выручек и приведенных затрат на строительство и эксплуатацию ТСЛФ по периодам освоения территорий лесного фонда t_i . С учетом отмеченного обстоятельства выражение (1) принимает вид:

$$\sum_{t=0}^T \frac{\Pi^{cp}(t_i) + \Pi^{ek}(t_i)}{(1+e)^{t_i}} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T} \right) = \sum_{t=0}^T \frac{[(B^{cp}(t_i) - Z_c(t_i)) + (B^{ek}(t_i) - Z_d(t_i))] - Z_3(t_i)}{(1+e)^{t_i}} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T} \right), \quad (2)$$

где e — коэффициент дисконтирования; t_i — период освоения территории лесного фонда, лет; T — общий период освоения лесного фонда, лет.

Учитывая обозначенное выше, общий эффект от реализации лесовосстановительных мероприятий в денежном выражении определяется по следующей формуле (3):

$$\left\{ \begin{aligned} \mathcal{E}^l(T) &= \frac{\Pi^{cp}(T) + \Pi^{ek}(T)}{\sum_l^l Z_{лв}^l(T) + \sum_d^d Z_{лв}^d(T)} \rightarrow \max \\ Z_{лв}^l(T) &= \sum_{t=0}^T \frac{Z_{лв}^l(t_i)}{(1+e)^{t_i}} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T} \right), \\ Z_{лв}^d(T) &= \sum_{t=0}^T \frac{Z_{лв}^d(t_i)}{(1+e)^{t_i}} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T} \right) \\ T &= \sum_0^T t_i \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где $Z_{лв}^l(t_i)$ — нормативные затраты на воспроизводство l -й породы (d -го ресурса), гарантирующие ее (его) восстановление как на вырубках, так и после лесных пожаров, выращивание до возраста зрелости, охрану и защиту, $p./\text{га}$, на момент времени t_i . Данный показатель включает в себя затраты, связанные с лесовосстановлением (затраты на посадочный материал, затраты

на материалы и использование геодезических приборов, затраты на зарплату рабочих, занятых на лесовосстановительных работах, транспортные расходы на доставку рабочих до мест посадки, затраты на уход за лесными культурами по годам выращивания и т. д.) как до рубки, если использованию подлежал восстановленный лес, так и после использования ресурса.

Валовая прибыль от реализации древесных ресурсов ($B^{cp}(T) - Z_c$) определяется выражением (2):

$$\Pi^{cp}(t_i) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L [C_{il}^3(t_i) + (C_{ijkl}^{TP}(t_i) + C_{ijl}^{Tex}(t_i)) \cdot \prod_{k=1}^H k_h(t_i)] \times (Q_{il}^3(t_i) + Q_{il}^3(t_i - 1) \times K_3) - P'_{ij}(t_i), \quad (4)$$

где $C_{il}^3(t_i)$ — стоимость древесины l -породы на i -м гектаре на корню, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $C_{ijkl}^{TP}(t_i)$ — транспортные расходы на вывозку при заготовке объема запаса l -породы с i -го гектара, $i \in \{1, \dots, m\}$, на j -й склад (прирельсовый участок, потребителю), $j \in \{1, \dots, n\}$, k -м типом транспорта $k \in \{1, \dots, K\}$, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $C_{ijl}^{Tex}(t_i)$ — технологические затраты при заготовке объема запаса l -породы, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $Q_{il}^3(t_i)$ — объем запаса древесины на корню l -породы, на момент времени t_i ; K_3 — возрастной коэффициент для перевода запаса древесины возраста $t_i - 1$ в запас спелой древесины возраста t_i ; $k_h(t_i)$ — коэффициенты, корректирующие величину транспортных и технологических затрат в период времени t_i в зависимости от влияния таких факторов, как расстояние вывозки, природно-климатические условия, объем хлыста (согласно [4; 5], чем больше объем хлыста, тем меньше транспортные и технологические затраты) и т. п.; $P'_{ij}(t_i)$ — омертвление актива лесного хозяйства (не реализация запаса l -породы) от неосвоения территории лесного фонда ввиду отсутствия лесной дорожной сети на момент времени t_i , $p./\text{га}$; Δt — период неосвоения территории лесного фонда.

Сумма $C_{il}^3(t_i) + C_{ijkl}^{TP}(t_i) + C_{ijl}^{Tex}(t_i)$ рассматривается нами как стоимость заготовленной и доставленной на j -й склад (прирельсовый участок, потребителю) древесины l -породы, $p./\text{м}^3$.

$P'_{ij}(t_i)$ рассматривается нами как издержки, включающие в себя потенциальный доход, упущенный вследствие откладывания поступления доходов от лесопользования плюс издержки удаления доходов от будущих производственных циклов на период времени Δt .

Валовая прибыль, включающая в себя доходы от побочного лесопользования, экологических и других полезностей леса ($B^{ek}(T) - Z_d$), определяется выражением (5):

$$\left\{ \begin{aligned} \Pi^{ek}(t_i) &= \Pi_g(t_i) + \Pi_{под}(t_i) + \Pi_{поб}(t_i) + \Pi_{пф}(t_i) + \Pi_h(t_i) \\ \Pi_g(t_i) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D [C_{id}^3(t_i) + C_{ijkd}^{TP}(t_i) + C_{ijd}^{Tex}(t_i)] \cdot \\ &\quad * Q_{id}^3(t_i) - P''_{ij} \cdot \Delta t(t_i) \\ \Pi_{под}(t_i) &= C^{р\text{од}} \cdot K_p^{р\text{об}} \\ \Pi_{поб}(t_i) &= 100 C_b^{р\text{од}} \\ \Pi_{пф}(t_i) &= (Q_{ij}^3(t_i) \cdot K_1^{пф}(t_i)) \cdot C^b \end{aligned} \right. \quad (5)$$

где $C_{id}^3(t_i)$ — стоимость d -го второстепенного лесного ресурса на i -м гектаре, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $C_{ijkd}^{TP}(t_i)$ — транспортные расходы на вывозку при заго-

товке объема запаса второстепенного лесного ресурса с где $C_{id}^3(t_i)$ — стоимость d -го второстепенного лесного ресурса на i -м гектаре, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $C_{ijkl}^{\text{TP}}(t_i)$ — транспортные расходы на вывозку при заготовке объема запаса второстепенного лесного ресурса с i -го гектара на j -й склад (прирельсовый участок, потребитель) k -м типом транспорта, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $C_{ijl}^{\text{Tex}}(t_i)$ — технологические затраты при заготовке объема запаса d -го лесного ресурса, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $Q_{id}^3(t_i)$ — объем запаса d -го лесного ресурса на момент времени t_i ; $\Pi_g(t_i)$ — прибыль от реализации d -х лесных ресурсов на 1 га лесных земель, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $\Pi_n(t_i)$ — прибыль от не включенных в показатель $V_{\text{пф}}(t_i)$ полезных (в том числе средо- и почвозащитных) функций леса, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $\Pi_{\text{под}}(t_i)$ — прибыль от подсочки на 1 га леса, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $\Pi_{\text{поб}}(t_i)$ — прибыль от побочного лесопользования: туризма, охоты, спорта и других целей принимается, согласно [3], равным стократной величине годового размера лесных податей, взимаемых за соответствующий вид лесопользования на оцениваемом участке лесных земель, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $\Pi_{\text{пф}}(t_i)$ — прибыль от продуцирования углерододепонирующей функции лесов на 1 га леса, $p./\text{га}$, на момент времени t_i ; $C^{\text{год}}$ — годовая ставка лесных податей, взимаемых за подсочку 1 га насаждений; $K_p^{\text{об}}$ — коэффициент оборота рубки, изменяется от 16,39 до 4,59 при обороте рубки от 50 до 120 лет соответственно; $C_{\text{в}}^{\text{год}}$ — годовой размер лесных податей, взимаемый за соответствующий вид лесопользования [3]; $K_l^{\text{пор}}(t_i)$ — коэффициент поглощения CO_2 лесами l -породы i -го гектара на момент времени t_i ; $C^{\text{в}}$ — удельная оценочная стоимость функции поглощения CO_2 на момент времени t_i , $p./\text{га}$.

Сумма $C_{id}^3(t_i) + C_{ijkl}^{\text{TP}}(t_i) + C_{ijl}^{\text{Tex}}(t_i)$ рассматривается нами как стоимость заготовленного и доставленного на j -й склад (прирельсовый участок, потребителю) d -х лесных ресурсов, $p./\text{га}$.

$P_{ij}''(t_i)$ — омертвление актива лесного хозяйства (нереализация запаса d -го лесного ресурса) от неосвоения территории лесного фонда ввиду отсутствия лесной дорожной сети на момент времени t_i , $p./\text{га}$; Δt — период неосвоения территории лесного фонда.

Следует отметить, что расчет показателей косвенной стоимости использования лесных ресурсов и так называемых «невесомых» полезностей леса подробно рассмотрен в источниках [7].

Суммарные валовые прибыли, определяемые выражениями (4), (5) представлены в выражении (3) за минусом показателя $Z_3(t_i)$ по периодам формирования финансовых потоков t_i соответственно.

Также предлагается определять показатель общего эффекта от реализации лесовосстановительных мероприятий посредством уровня создания и развития транспортных систем не только в денежном эквиваленте, но и в процентном соотношении. Подобный подход необходим в целях планирования фонда на лесовосстановительные работы в периоде $(t_i + 1)$, поскольку недоработка по лесовосстановительным мероприятиям в периоде освоения лесной территории t_i , будет оказывать негативное влияние на суммарную выручку от многоцелевого лесопользования, снижая ее путем уве-

личения статей затрат на лесовосстановление в периоде освоения территории лесного фонда $(t_i + 1)$.

Данный эффект должен определяться по каждому периоду от t_1 до t_n нарастающим итогом в прогностических целях оценки деятельности хозяйствующего субъекта.

Учитывая вышеотмеченное, опираясь на исследование, выполненное в источнике [11], при разработке адекватной модели следует отметить, что в указанном источнике интегрированное значение отмеченного показателя определялось с помощью формулы средней геометрической величины. Нами предлагается производить данное вычисление с помощью логарифмов в целях обеспечения ускорения вычислений и снижения погрешности расчетов.

Итак, общий эффект от реализации лесовосстановительных мероприятий в долях (от его эталонного значения или, в случае равенства, его эталонному значению, т. е. эталон — $\mathcal{E}^n(t_i) = 1$) либо при умножении значения показателя на 100 % в процентном выражении определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_d^n(t_i) = \sum_{i=1}^K \frac{\log K_i^{\mathcal{E}^n}(t_i)}{n}, \quad (6)$$

где n — количество показателей $K_i^{\mathcal{E}^n}$; $K_i^{\mathcal{E}^n}$ — коэффициенты, определяющие эффективность лесовосстановительных мероприятий, которые могут определяться организацией самостоятельно, исходя из поставленных задач, нами приводятся лишь основные показатели, являющиеся ключевыми при оценке критериального значения эффективности лесовосстановления:

1. Коэффициент воспроизводства лесов:

$$K_{\text{воспр}}^{\mathcal{E}^n} = S^{\text{пп}} / S^{\text{в}}, \quad (7)$$

где $S^{\text{пп}}$ — площадь лесного фонда, на которой были проведены активные лесовосстановительные мероприятия, га ; $S^{\text{в}}$ — площадь вырубленных и/или погибших лесов, га .

2. Коэффициент ввода молодняков в категорию хозяйственно ценных насаждений:

$$K_{\text{ввм}}^{\mathcal{E}^n} = S^{\text{м}} / S_{\text{общ}}, \quad (8)$$

где $S^{\text{м}}$ — площадь введенных молодняков в категорию хозяйственно ценных насаждений, га ; $S_{\text{общ}}$ — площадь сплошных вырубок или пройденной пожаром территории лесного фонда.

3. Коэффициент продуктивности молодняков, переведенных в покрытые лесом земли. Оценка показателя по отношению фактического древесного запаса к расчетному (запроектированному лесоустройством):

$$K_{\text{прм}}^{\mathcal{E}^n} = M^{\text{м}} / M_{\text{пл}}, \quad (9)$$

где $M^{\text{м}}$ — фактический древесный запас молодняков, переведенных в покрытые лесом земли, тыс. м^3 ; $M_{\text{пл}}$ — плановый древесный запас молодняков, переведенных в покрытые лесом земли, тыс. м^3 .

Нами приведена формализация расчета оценки лесовосстановления для древесных ресурсов, для расчета не древесных ресурсов нами предлагается использовать также выражение (6) с поправкой $K_i^{\mathcal{E}^n}$, согласно необ-

ходимым мероприятиям по восстановлению d -х лесных ресурсов.

Учитывая обозначенную формализацию показателя оценки эффективности лесовосстановления, расчет статей затрат на период $(t_i + 1)$ определяется выражениями (10):

По древесным ресурсам:

$$\sum_l^L 3_{лв}(t_i + 1) = \sum_l^L 3_{лв}(t_i + 1) + [(1 - \mathcal{E}_{д}^n(t_i)) \cdot \sum_l^L 3_{лв}(t_i)]$$

По недревесным ресурсам (10):

$$\sum_d^D 3_{лв}(t_i + 1) = \sum_d^D 3_{лв}(t_i + 1) + [(1 - \mathcal{E}_{нд}^n(t_i)) \cdot \sum_d^D 3_{лв}(t_i)]$$

При реализации предложенной математической модели эколого-экономического эффекта от реализации лесовосстановительных мероприятий с учетом проекта планирования создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда следует учитывать следующие ограничения:

1. Окупаемость проекта планирования ТСЛФ:

$$P^{сп}(T) + P^{эк}(T) - \sum_l^L 3_{лв}(T) - \sum_d^D 3_{лв}(T) > 3_з(T) \quad (11)$$

Одним из ключевых показателей окупаемости проекта создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда является эффективность финансовых вложений в лесовосстановительные мероприятия.

Согласно [11], нормальная оценка эффективности лесовосстановительных мероприятий определяется промежутком $0,81 \leq \mathcal{E}_{д}^n(t_i) \leq 1$.

2. Финансовая устойчивость предприятия, инвестирующего в проект планирования ТСЛФ:

$$3_з(T) \leq P_{max} \quad (12)$$

где P_{max} — финансовые возможности предприятия, р.

3. Транспортная доступность лесоучастков.

Согласно источнику [3], эффективное плечо вывозки лесного ресурса от i -го лесного участка до j -го склада сырья не должно превышать доступное с экономической точки зрения расстояние доставки:

$$L_{ij} \leq L_{дост} \quad (13)$$

где L_{ij} — расстояние между i -м лесным участком и j -м складом сырья, км.

4. Естественная неотрицательность грузопотоков:

Литература

- Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. V. 18. № 2. P. 19-26.
- Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Culti-

$$Q_{ijkl}(t_i) \geq 0, \quad Q_{id}^3(t_i) \geq 0, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad t_i = 0, \dots, T; \quad k = 1, \dots, K. \quad (14)$$

5. Требование непрерывного неистощительного лесопользования:

– по древесным ресурсам:

$$\sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L ((Q_{ijk}(t_i + 1)l \cdot [C_i^3 + C_{ijk}^{TP} + C_{ij}^{Tex}](t_i + 1)l - 3_{кап}(t_i + 1) - 3_{лв}(t_i + 1)l - 3_y(t_i + 1)l - P'_{ij} \cdot \Delta t(t_i + 1))l) - \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L ((Q_{ijk}(t_i)l \cdot [C_i^3 + C_{ijk}^{TP} + C_{ij}^{Tex}](t_i)l - 3_{кап}(t_i) - 3_{лв}(t_i)l - 3_y(t_i)l - P'_{ij} \cdot \Delta t(t_i))l) \geq 0, \quad l = 1, \dots, L. \quad (15)$$

– по недревесным ресурсам:

$$\sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D ((Q_i^3(t_i + 1)d \cdot [C_i^3 + C_{ijk}^{TP} + C_{ij}^{Tex}](t_i + 1)d - 3_{кап}(t_i + 1)l - 3_{лв}(t_i + 1)d - 3_y(t_i + 1)d - 3_c(t_i + 1)d - P'_{ij} \cdot \Delta t(t_i + 1))d) - \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D ((Q_i^3(t_i)d \cdot [C_i^3 + C_{ijk}^{TP} + C_{ij}^{Tex}](t_i)d - 3_{кап}(t_i) - 3_{лв}(t_i)d - 3_y(t_i)d - 3_c(t_i)d - P'_{ij} \cdot \Delta t(t_i))d) \geq 0, \quad d = 1, \dots, D. \quad (16)$$

5. Окупаемость затрат на лесовосстановление:

$$\sum_l^L 3_{лв}(t_i) + \sum_d^D 3_{лв}(t_i) \leq (P^{сп} + P^{эк})(t_i + 1) \quad (17)$$

Предлагаемая математическая модель в динамической постановке обеспечивает корректный расчет общего эколого-экономического эффекта от реализации лесовосстановительных мероприятий с учетом проекта планирования создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда.

Выводы. Определена необходимость разработки метода оценивания эффективности лесовосстановительных работ на основе комплексного подхода в условиях многоцелевого лесопользования с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда. Представленный в данной статье метод предназначен для оценки качества проведения лесовосстановительных мероприятий как после главного пользования лесами, так и после лесных пожаров. Также предложена комплексная математическая модель, посредством которой реализуется разработанный методологический аппарат, с подробным описанием всех входящих в нее зависимостей; доказаны преимущества обозначенной модели. Данная модель носит комплексный, интегрированный характер, посредством которого при расчете показателя эффективности лесовосстановления обеспечивается совокупный учет всех основных полезных функций леса в динамике.

vation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. V. 8. № 4. P. 1385-1393.

- Болотов О.В., Ельдештейн Ю.М., Болотова А.С. Основы расчета и планирования устойчивого управления лесопользованием: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2005. 180 с.
- Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Калита О.Н. Влияние переменных коэффициентов сопротивления движению и сцепления на производительность форвардера // Деревообрабатывающая пром-сть. 2021. № 1. С. 3-16.

5. Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Куницкая О.А., Лунева Е.Н. Теоретические исследования производительности форвардеров при ограничениях воздействия на почвогрунты // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 101-116.
6. Починков С. Экономические основы устойчивого лесопользования [Электронный ресурс]. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/poch/inkov/index.htm> (дата обращения: 19.11.2022).
7. Ефимова Н.Б. Эколого-экономическая оценка стоимости лесных ресурсов в Волгоградской области // Региональная экономика: теория и практика. 2012. № 5 (263). С. 37-42.
8. Соколов В.А., Фарбер С.К. Проблемы лесопользования в Нижнем Приангарье // Сырьевые ресурсы Нижнего Приангарья: тр. первой науч.-практической конф. по реализации Федер. целевой программы освоения Нижнего Приангарья в Красноярском крае. Лесохимический комплекс. Красноярск, 1997. С. 173-178.
9. Калашников Е.Н., Рыжкова В.А., Плешиков Ф.И., Первунин В.А., Каплун В.А. Современное состояние и динамика лесов Нижнего Приангарья // Сырьевые ресурсы Нижнего Приангарья: тр. первой науч.-практической конф. по реализации Федер. целевой программы освоения Нижнего Приангарья в Красноярском крае. Лесохимический комплекс. Красноярск, 1997. С. 159-163.
10. Ефимова Н.Б. Формирование эколого-экономического механизма устойчивого лесопользования в малолесных районах: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Ставрополь, 2013. 24 с.
11. Зекунова А.И. Оценка эффективности лесовосстановительных работ // Горный информ. - аналитический бюллетень. 2008. № 10. С. 278-283.
12. Никифоров О.А., Куницкая О.А. Информационная база оценки и управления рисками для лесных экосистем, возникающими в результате ведения хозяйственной деятельности // Вестн. АГАТУ. 2022. № 3 (7). С. 82-120.
13. Никифоров О.А., Куницкая О.А. Пути совершенствования схем лесной сертификации в области оценки экологического воздействия // Вестн. АГАТУ. 2022. № 3 (7). С. 55-69.
14. Зорин М.В., Куницкая О.А. Инновационные методы строительства лесных дорог // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: материалы Всерос. науч.-практической конф. (4-6 июня 2022 г.). Красноярск, 2022. С. 84-87.
15. Куницкая О.А. Тенденции развития лесопромышленного комплекса Республики Саха (Якутия) // Вестн. АГАТУ. 2022. № 2 (6). С. 70-79.
16. Зорин М.В., Куницкая О.А. Современные сборно-разборные покрытия для строительства временных лесных дорог и технологических коридоров // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 86-й науч.-технической конф. проф.-препод. состава, науч. сотрудников и аспирантов (31 янв. - 12 февр. 2022 г.). Минск, 2022. С. 54-57.
17. Куницкая О.А., Никитина Е.И. Экологические аспекты выборочных рубок леса // Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Рос. Федерации: сб. ст. III Междунар. науч.-технической конф. «Минские науч. чтения-2020»: в 3 т. (3 дек. 2020 г.). Минск, 2021. С. 286-291.
18. Куницкая О.А., Новгородов Д.В., Марков О.Б. Проблемы эффективной переработки поврежденной лесным пожаром древесины // Комплексные вопросы аграрной науки и образования: сб. науч. ст. по материалам внутривузовской науч.-практической конф., посвящ. 65-летию Высш. аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всерос. студенческой науч.-практической конф. с междунар. участием в рамках «Северного форума - 2021» (27 сент. - 12 нояб. 2021 г.). Якутск, 2021. С. 285-291.
19. Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V., Kunitskaya O., Chernykh A., Roschina S. Mechanical and microstructural changes in post-fire raw wood // Architecture and Engineering. 2022. V. 7. № 3. P. 44-52.
20. Куницкая О.А., Степанова Д.И., Григорьев М.Ф. Транспортно-технологические системы для сбора и переработки пищевой продукции леса // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы междунар. науч.-практической конф. (6-7 июня 2018 г.). Воронеж, 2018. С. 102-108.

References

1. Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. V. 18. № 2. P. 19-26.
2. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. V. 8. № 4. P. 1385-1393.
3. Bolotov O.V., El'deshtejn YU.M., Bolotova A.S. The bases of calculation and planning of sustainable forest management: monogr. Krasnoyarsk: SibGTU, 2005. 180 p.
4. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Hitrov E.G., Rudov S.E., Kunickaya O.A., Kalita O.N. Effect of variable drag and traction coefficients on the performance of the forwarder // Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry). 2021. № 1. P. 3-16.
5. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Hitrov E.G., Kunickaya O.A., Luneva E.N. Theoretical study of the productivity of forwarders under the restrictions of the impact on the soil // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2021. № 3 (381). P. 101-116.
6. Pochinkov S. Economic foundations of sustainable forest management [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/poch/inkov/index.htm> (data obrashcheniya: 19.11.2022).
7. Efimova N.B. Ecological and economic assessment of the value of forest resources in the Volgograd Oblast // Regional Economics: Theory and Practice. 2012. № 5 (263). P. 37-42.
8. Sokolov V.A., Farber S.K. Problems of forest management in the Lower Angara region // Syr'evye resursy Nizhnego Priangarya: tr. pervoj nauch.-prakticheskoy konf. po realizacii Feder. celevoj programmy osvoeniya Nizhnego Priangarya v Krasnoyarskom krae. Lesohimicheskij kompleks. Krasnoyarsk, 1997. P. 173-178.
9. Kalashnikov E.N., Ryzhkova V.A., Pleshikov F.I., Pervunin V.A., Kaplunov V.A. Modern state and dynamics of forests of the Lower Angara Region // Syr'evye resursy Nizhnego Priangarya: tr. pervoj nauch.-prakticheskoy konf. po realizacii Feder. celevoj programmy osvoeniya Nizhnego Priangarya v Krasnoyarskom krae. Lesohimicheskij kompleks. Krasnoyarsk, 1997. P. 159-163.
10. Efimova N.B. Formation of ecological-economic mechanism of sustainable forest-use in sparsely forested areas: avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk. Stavropol', 2013. 24 p.
11. Zekunova A.I. Assessment of the efficiency of forest-restoration works // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2008. № 10. P. 278-283.
12. Nikiforov O.A., Kunickaya O.A. Information base of assessment and management of risks for forest ecosystems arising as a result of economic activity // Vestnik ASAU (Scientific journal of Arctic State Agrotechnological University). 2022. № 3 (7). P. 82-120.

13. Nikiforov O.A., Kunickaya O.A. Ways to improve forest certification schemes in the assessment of environmental impact // Vestnik ASAU (Scientific journal of Arctic State Agrotechnological University). 2022. № 3 (7). P. 55-69.
14. Zorin M.V., Kunickaya O.A. Innovative methods of construction of forest roads // Innovacii v himiko-lesnom komplekse: tendencii i perspektivy razvitiya: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (4-6 iyunya 2022 g.). Krasnoyarsk, 2022. P. 84-87.
15. Kunickaya O.A. Innovative methods of construction of forest roads // Vestnik ASAU (Scientific journal of Arctic State Agrotechnological University). 2022. № 2 (6). P. 70-79.
16. Zorin M.V., Kunickaya O.A. Modern collapsible covers for the construction of temporary forest roads and technological corridors // Lesnaya inzheneriya, materialovedenie i dizajn: materialy 86-j nauch.-tekhnicheskoy konf. prof.-prepod. sostava, nauch. sotrudnikov i aspirantov (31 yanv. - 12 fevr. 2022 g.). Minsk, 2022. P. 54-57.
17. Kunickaya O.A., Nikitina E.I. Ecological aspects of selective logging // Ekologo-ekonomicheskie i tekhnologicheskie aspekty ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus' i Ros. Federacii: sb. st. III Mezhdunar. nauch.- tekhnicheskoy konf. «Minskie nauch. chteniya-2020»: v 3 t. (3 dek. 2020 g.). Minsk, 2021. P. 286-291.
18. Kunickaya O.A., Novgorodov D.V., Markov O.B. Problems of Efficient Processing of Timber Damaged by Forest Fire // Kompleksnye voprosy agrarnoy nauki i obrazovaniya: sb. nauch. st. po materialam vnutrivuzovskoj nauch.-prakticheskoy konf., posvyashch. 65-letiyu Vyssh. agrarnogo obrazovaniya Respubliki Saha (Yakutiya) i Vseros. studencheskoy nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem v ramkah «Severnogo foruma - 2021» (27 sent. - 12 noyab. 2021 g.). YAkutsk, 2021. P. 285-291.
19. Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V., Kunitskya O., Chernykh A., Roschina S. Mechanical and microstructural changes in post-fire raw wood // Architecture and Engineering. 2022. V. 7. № 3. P. 44-52.
20. Kunickaya O.A., Stepanova D.I., Grigor'ev M.F. Transport-technological systems for harvesting and processing of forest food products // Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (6-7 iyunya 2018 g.). Voronezh, 2018. P. 102-108.