

УДК 625.711.84: 338.556

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6583

Статья

Математическая модель определения общей стоимости ресурсов лесных земель с учётом уровня развития лесотранспортной сети

Ковалев Рудольф Николаевич

доктор технических наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет (Российская Федерация), kir9624@yandex.ru.

Еналеева-Бандура Ирина Михайловна

кандидат технических наук, Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева (Российская Федерация), melnikov1978@inbox.ru

Баранов Александр Николаевич

кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева (Российская Федерация), aleksandr-baranov-55@mail.ru

Григорьева Ольга Ивановна

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Российская Федерация), grigoreva_o@list.ru

Григорьев Игорь Владиславович

доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет (Российская Федерация), silver73@inbox.ru

Получена: 3 октября 2022 / Принята: 26 декабря 2022 / Опубликовано: 27 декабря 2022

Аннотация: В современных экономических условиях, учитывая принципы устойчивого развития территорий лесного фонда, перед лесной отраслью стоит задача обеспечения многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощимого лесопользования. Очевидно, что одним из ключевых факторов достижения устойчивого управления лесопользованием является эффективность управления стоимостью лесных благ как объектов национального богатства. Данное обстоятельство обуславливает необходимость определения величины показателя суммарной стоимости ресурсов леса. При этом транспортная сеть на территории

лесного фонда имеет решающее значение, поскольку без неё невозможен любой вид лесопользования, а следовательно, и аспект преобразования стоимости лесных ресурсов в части валовой выручки от их реализации. Соответственно, транспортная доступность лесных земель является основным фактором при определении оценки ресурсного потенциала территорий лесного фонда. Таким образом, в условиях соблюдения принципов устойчивого развития лесных территорий одной из ключевых задач является разработка моделей определения величины суммарной стоимости лесных благ на основе комплексного подхода в условиях многоцелевого лесопользования с учётом уровня развития лесотранспортной сети. В этой связи в данной статье произведён анализ основных методологических подходов к общей экономической оценке ресурсов леса. Посредством произведённого анализа выявлено, что существующие методики оценки общей стоимости лесных благ, в основном, ориентированы на аспект рубок спелых и перестойных насаждений. Прочие виды лесопользования и так называемые «невесомые полезности лесов» либо не учитываются, как и уровень развития транспортной сети, либо методы их учёта недостаточно проработаны. Данное обстоятельство является причиной возможности недооценивания ресурсного потенциала лесных территорий, что, в свою очередь, может привести к утрате лесоучастков, ценных как экономически, так и экологически. В этой связи актуальным научным направлением становится разработка комплексной модели расчёта общей экономической стоимости лесных благ в динамической постановке с учётом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда на базе эколого-экономического критерия. В основе представленного в статье методологического аппарата лежит инструментарий экономико-математического моделирования в контексте комбинаторного подхода с учётом динамики входных параметров. Модель представлена с помощью подробного описания всех входящих в неё зависимостей, отмечены преимущества её применения.

Ключевые слова: земли лесного фонда, транспортная сеть, эколого-экономический критерий, продуктивность лесных земель

DOI: DOI: 10.15393/j2.art.2022.6583

Article

Mathematical model for determining the total cost of forest land resources taking into account the level of development of the forest transport network

Rudol'f Kovalev

D. Sc. in engineering, professor, Ural State Forest Engineering University (Russian Federation), kir9624@yandex.ru

Irina Enaleeva-Bandura

Ph. D. in engineering, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (Russian Federation), melnikov1978@inbox.ru

Aleksandr Baranov

Ph. D. in engineering, associate professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (Russian Federation), aleksandr-baranov-55@mail.ru

Olga Grigoreva

Ph. D. in agriculture, associate professor, Saint Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov (Russian Federation), grigoreva_o@list.ru

Igor Grigorev

D. Sc. in engineering, professor, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), silver73@inboxl.ru

Received: 3 October 2022 / Accepted: 26 December 2022 / Published: 27 December 2022

Abstract: In modern economic conditions the principles of sustainable development of forest fund territories impose the industry to ensure multi-purpose, rational, continuous, inexhaustible forest management. It is obvious that one of the key factors in achieving sustainable forest management is the efficiency of managing the value of forest benefits as objects of national wealth. This circumstance makes it necessary to determine the value of a forest resources total cost indicator. The transport network on the territory of the forest fund is of decisive importance as it provides both forest use and converts the value of forest resources into a part of the gross proceeds from their sale. Consequently, the transport accessibility of forest lands is the main factor in assessment of the resource potential of the forest fund territories. Thus, one of the key tasks is to develop models to determine the value of the total value of forest benefits basing on an integrated approach

in the context of multipurpose forest management and taking into account the level of the forest transport network development. This article analyzes the main methodological approaches to the general economic assessment of forest resources. The analysis revealed that the existing methods for assessing the total value of forest benefits are mainly focused on the use of mature and overmature forests. Other types of forest use and the so-called "insignificant benefits of forests" are either not taken into account, as well as the level of development of the transport network, or the methods of their accounting are not sufficiently developed. Therefore the resource potential of forest areas might be underestimated, which in turn may lead to the loss of forest areas that are valuable both economically and ecologically. In this regard, the development of a complex model for calculating the total economic value of forest benefits in a dynamic setting, which takes into account the level of development of the transport network on the territory of the forest fund and is based on the ecological and economic criterion, is becoming an urgent scientific direction. The methodological apparatus presented in the article is based on economic and mathematical modeling in the context of the combinatorial approach taking into account the dynamics of input parameters. The model is presented with a detailed description of all dependencies included; the advantages of its use are noted.

Keywords: total forest land, transport network, ecological and economic criteria, productivity of forest lands

1. Введение

Проблемы определения суммарной экономической стоимости лесных благ в Российской Федерации можно считать наиболее обсуждаемыми и находящимися в центре внимания государства и общества. Данное определение служит основой решения следующих задач: более полного и рационального использования лесных ресурсов, включая ресурсы, определённые в научной литературе [9] как «невесомые полезности леса»; повышения эффективности лесохозяйственных мероприятий по восстановлению, охране и защите лесов. Кроме того, на базе показателя общей экономической стоимости ресурсного потенциала территорий лесного фонда может быть выработана единая методика кадастровой оценки лесных земель. Таким образом, определение главных элементов, формирующих показатель суммарной экономической стоимости лесных благ, представляет возможность решения множественных задач социальной, экономической и политической сфер существования современного общества.

Учитывая вышеизложенное, становится очевидным, что разработка эффективного методологического аппарата определения отмеченного показателя является актуальным научным направлением.

Следует отметить, что осуществлять определение показателя суммарной экономической стоимости ресурсного потенциала территорий лесного фонда невозможно без учёта уровня развития лесотранспортной сети, поскольку именно транспортная доступность обеспечивает все виды лесопользования.

Исходя из сказанного выше, можно утверждать, что разработка обозначенных оптимизационных моделей невозможна без учёта фактора планирования сети лесных дорог. Тем не менее до настоящего времени в научных трудах по обозначенной проблематике отсутствуют модели определения показателя суммарной экономической стоимости ресурсного потенциала лесных земель, учитывающие влияние данного фактора.

2. Материалы и методы

Суммарную стоимость лесных благ можно рассматривать как денежное выражение комплексной продуктивности лесных территорий, т. е. как оценку экологического и экономического потенциала участка лесного фонда и его социального значения. Показатель данной стоимости представляет собой интегральную сумму прямого и косвенного лесопользования, стоимости существования лесов и отложенной альтернативы их использования (рисунок 1). Отмеченный показатель предназначается для оценки деятельности хозяйствующих субъектов лесной отрасли, как представителей органов управления, так и лесопользователей. Указанный показатель даёт возможность рассчитать сумму оплаты за перевод земель лесного фонда в нелесные, а также размер платежей за использование лесных земель.

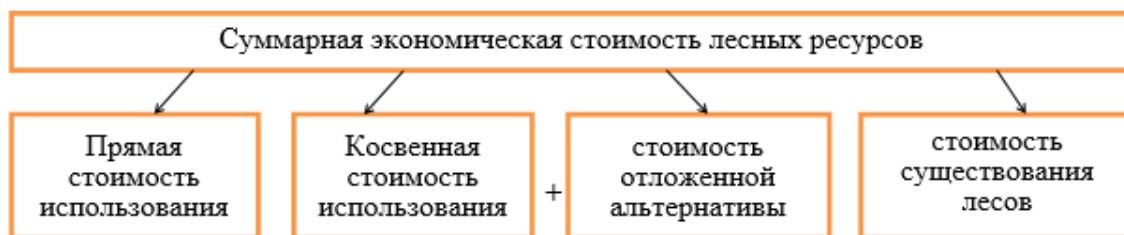


Рисунок 1. Традиционный подход к формированию показателей суммарной экономической стоимости лесных благ

Figure 1. Traditional approach to the formation of indicators of the total economic value of forest benefits

Анализируя материал, представленный на рисунке 1, несложно прийти к выводу, что прямую стоимость лесопользования рассчитать довольно легко, чего нельзя сказать об остальных составляющих суммарной экономической стоимости. Как, например, расчёт в рамках косвенной стоимости использования показателя увеличения производительности труда посредством рекреации. Также сложность расчёта общей экономической стоимости характеризуется не только трудностью определения величины косвенной стоимости лесных ресурсов, но и проблематичностью отнесения их к той либо другой категории слагаемых обозначенного показателя. Например, стоимость существования также можно рассматривать с различных позиций, в зависимости от категории лесов (экологическая недоступность для главного лесопользования), в зависимости от целей сохранения лесов (если территория используется в рекреационных целях, то логично стоимость существования рассчитывать в разрезе прямой стоимости использования, и т. д.). Или, допустим, рассмотрение показателя «объём запаса древесного ресурса» носит двойственный характер — с одной стороны, данный показатель представляет собой не реализованный запас древесины какой-либо породы, с другой стороны, рассматривается как объём ресурса, продуцирующего углерод-депонирующую функцию лесов при различных стоимостных показателях по вариантам рассмотрения и т. п.

Исходя из анализа научной литературы [1—14] можно выделить три основных методологических подхода к формированию суммарной экономической оценки ресурсного потенциала лесных территорий (рисунок 2).

Методы экономической оценки, основанные на рентном подходе, получили более широкое распространение, т. к. они учитывают реальный экономический эффект от использования ресурсов леса. Расчёты экономической стоимости ресурсного потенциала лесных территорий, основанные на рентном подходе, базируются на отношении рентного дохода к коэффициенту капитализации.

Расчёт рентного дохода в большинстве научных исследований [1], [5], [13] тесно связан с определением экономической доступности лесных ресурсов. Подобный подход

к определению экономической стоимости лесных благ в настоящее время используется специалистами лесного хозяйства, лесной промышленности и экономистами лесной отрасли. Преимущество данного подхода заключается в органическом сочетании экономических и экологических требований. Однако он не учитывает реальных издержек на создание транспортной инфраструктуры, очередности освоения конкретных участков леса [2].

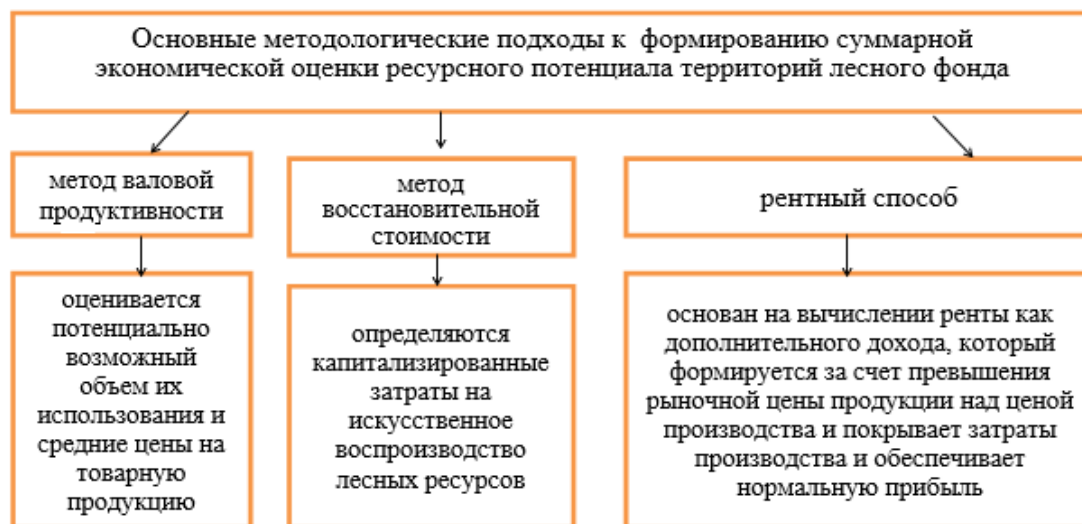


Рисунок 2. Основные методологические подходы к формированию суммарной экономической оценки ресурсного потенциала лесных территорий

Figure 2. The main methodological approaches to the formation of the total economic evaluation of the resource potential of forest territories

Недостатком данного подхода является сложность проведения расчётов итогового показателя, т. к. распределённые во времени доходы подвержены существенным изменениям. Сложность возникает также при определении ставки капитализации, поскольку её значение сопряжено с экономической нестабильностью в стране, обусловленной постоянными изменениями в финансовой и правовой системах регулирования хозяйственной деятельности.

Методология расчёта посредством определения восстановительной стоимости базируется на затратном подходе к оценке недвижимого имущества. Данная оценка основана на определении совокупных затрат, которые были произведены при создании оцениваемого недвижимого имущества. При применении данного метода в расчётах суммарной экономической стоимости лесных благ оценке подлежат как естественные лесные насаждения, так и искусственно созданные, с учётом временного интервала их выращивания, данных таксационного учёта и др.

Определение стоимости полезных функций леса при данном методе рассчитывается согласно текущим ценам на момент производства оценки, с учётом совокупных затрат

на выращивание лесов. Данный метод, по сути, является обратным предыдущему (рентный способ), при котором будущие доходы приводятся к моменту оценки. В описываемой методологии к моменту оценки необходимо приведение произведённых в прошлом затрат. Недостатком данного метода является изменение остаточной стоимости оцениваемых объектов, данное изменение обусловлено физическим и моральным износом лесных объектов. Достаточно сложным моментом в обозначенном подходе к определению суммарной экономической стоимости лесных земель является расчёт данного износа [11].

Что касается метода валовой продуктивности территорий лесного фонда, то можно отметить следующее: оценка стоимости продуктивности лесных земель определяется посредством расчёта потенциально возможного объёма использования лесных благ в средних ценах на товарную продукцию. Преимуществом данного метода является комплексный подход к объекту оценивания. В качестве недостатков отмеченного подхода следует обозначить усреднённые стоимостные показатели, поскольку данное обстоятельство является фактором существенного снижения величины общей экономической стоимости оцениваемых лесных территорий.

Следует обозначить, что в основе каждого подхода к расчёту общей экономической стоимости лесных благ лежит та или иная математическая модель. В данной связи следует отметить, что в научной литературе [2—3], [8] существуют модели расчёта указанной стоимости, основанные на различных комбинациях вышеописанных методик. Например, в источнике [8] суммарную экономическую стоимость лесных благ предлагается рассчитывать с учётом аспектов многоцелевого лесопользования и динамики объекта оценивания.

В качестве существенного недостатка данного методологического аппарата можно отметить следующее: оценивание недревесных лесных ресурсов (ягод, живицы, грибов и пр.) в статьях суммарной экономической стоимости принимается как 10 % от стоимости деловой и дровяной древесины. Наше мнение по данному вопросу совпадает с мнением авторов источника [2] и заключается в том, что оценивание стоимости недревесных ресурсов лесных земель должно производиться через урожайность этих ресурсов на каждом лесоучастке в отдельности, с учётом объёмов выхода побочной лесопродукции. Кроме того, «при оценке вклада недревесных лесных ресурсов в общую экономическую стоимость необходимо учитывать прирост таксационных показателей, в частности диаметра, так как он увеличивается вместе с ростом дерева. Игнорирование данного факта приводит к занижению итоговых значений стоимости земель лесного фонда» [2].

Преимуществом приведённой в источнике [2] математической модели определения общей экономической стоимости, по нашему мнению, является наличие условия многоцелевого лесопользования. Очевидно, что экономическая доступность лесных ресурсов в данной модели определялась посредством рентабельности продаж. В этой связи возникает вопрос об определении дорожной составляющей (затрат на строительство и эксплуатацию ТСЛФ),

поскольку отсутствие дорог определяет невозможность продаж лесных ресурсов. Также отсутствует учёт экологической составляющей устойчивого управления лесами.

В работе [3] приведён иной подход к расчёту ресурсного потенциала лесных территорий и его доступности с экономической позиции. В данном научном труде экономическая доступность лесных благ определяется как суммарная мощность инвестирующих в освоение лесных земель предприятий. Недостатком данной методологии является отсутствие учёта при оценивании лесных объектов: пространственного расположения лесного фонда, качественно-количественных показателей и возможностей использования лесосырьевой базы в динамике и уровня развития ТСЛФ.

Учитывая вышеизложенное, можно заключить, что анализ существующих методик оценки суммарной стоимости лесных ресурсов показал, что обозначенные методики, в основном, предназначены для расчёта стоимостной оценки лесных земель в аспекте главного лесопользования. Другие полезные функции леса учитываются локально, учёт уровня развитости ТСЛФ в контексте определения суммарной стоимости лесных благ в научной литературе отсутствует. Данное обстоятельство является основной причиной недооценивания ресурсного потенциала лесных земель, что может привести к утрате ценных, как с экологической, так и с экономической точки зрения, лесных земель. В этой связи актуальным научным направлением становится разработка комплексной модели расчёта общей экономической стоимости лесных земель в динамической постановке, с учётом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда на базе эколого-экономического критерия.

3. Результаты

Учитывая вышеизложенное, нами предлагается разделить суммарную экономическую стоимость лесных благ на две основные составляющие: стоимость использования (лесозаготовка) и стоимость сохранения лесных ресурсов (учёт побочного лесопользования, экологических и социальных функций леса) (рисунок 3).

Подобный подход к формированию показателей общей экономической стоимости можно считать комплексным, т. к. он способен обеспечить суммарную оценку всех полезностей леса за счёт расчёта стоимости лесных ресурсов по способу их использования либо неиспользования. В стоимость сохранения лесов нами предлагается включить показатели косвенной стоимости, которые поддаются расчёту, а также учитывать показатели отложенной альтернативы лесопользования и стоимости существования лесов в разрезе показателя неиспользования ресурсов лесных территорий. Поскольку инвестирующее в проект создания и развития ТСЛФ предприятие теряет доход от реализации запаса древесного сырья ввиду отсутствия лесной дорожной сети на данном этапе освоения, поэтому потерей данного дохода предприятие в некоторой степени оплачивает консервацию лесного массива в целях использования его на будущих этапах создания транспортной сети.

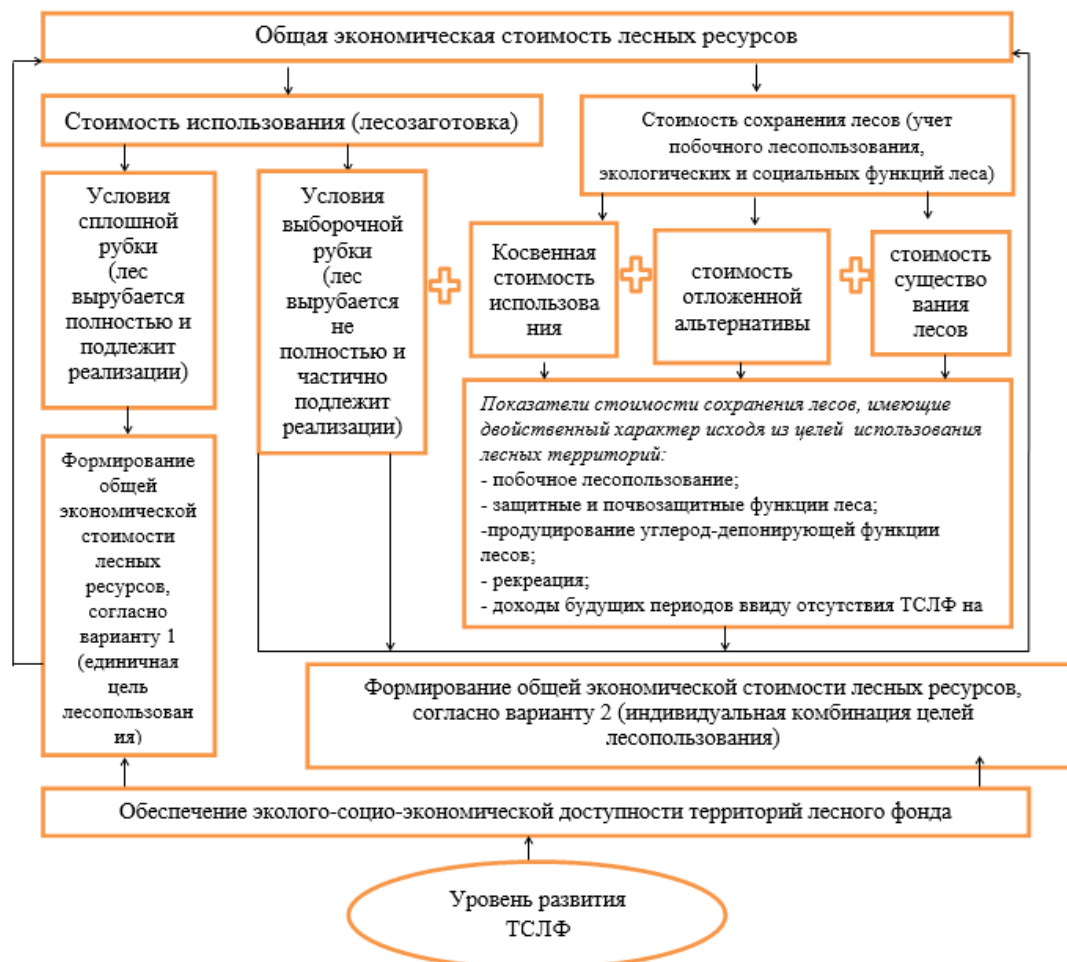


Рисунок 3. Комплексный подход к формированию показателей суммарной экономической стоимости лесных благ с учётом уровня развития ТСЛФ

Figure 3. An integrated approach to the formation of indicators of the total economic value of forest benefits, taking into account the level of development of the TNFF

Следует отметить, что в области практической деятельности хозяйствующего субъекта подлежащая к освоению территория лесного фонда может не в полном объёме использоваться в аспекте рубок спелых и перестойных насаждений (условия сплошной рубки, т. е. согласно рисунку 2, вариант 1 формирования суммарной экономической стоимости лесных благ), либо на отмеченной территории лесного фонда могут осуществляться выборочные рубки. Следовательно, часть данного лесоучастка будет сохранена и может использоваться в других целях. Исходя из того, что цели использования сохранённых лесных земель различны, то для каждого лесоучастка либо единичная цель использования, либо комбинация отмеченных целей будет носить индивидуальный характер (согласно рисунку 2, это вариант 2 формирования суммарной экономической стоимости лесных благ) [14].

Следует отметить, что данная стоимостная оценка ресурсного потенциала лесоучастков рассматривается нами с позиции лесопользователя, соответственно, общая экономическая стоимость — есть показатель вложений в целях получения прибыли от лесопользования, т. е. отмеченные вложения формируют себестоимость и должны окупаться наряду с издержками посредством реализации товарного продукта, полученного путём переработки оцениваемых ресурсов.

Учитывая вышеобозначенное, формализация вычисления величины общей экономической стоимости ресурсного потенциала лесных земель может быть задана следующими условиями:

- условие сплошной рубки. В рамках обозначенного условия лес вырубается полностью ради древесины, следовательно, в данном случае показатель стоимости неиспользования лесных ресурсов ($C^{HH}(t_i)$) равен нулю на интервал времени t_i ;
- условие выборочной рубки. При данном условии лес вырубается не полностью и пригоден для использования лесных территорий в других целях, следовательно, общая экономическая стоимость определяется как сумма стоимости использования и стоимости сохранения лесных ресурсов, согласно целям инвестирующего в проект предприятия, на интервал времени t_i — $C^H(t_i) + C^{HH}(t_i)$;
- условие сохранения лесного фонда. При данном условии лес не вырубается, следовательно, в данном случае показатель $C^H(t_i)$ равен нулю.

Согласно отмеченным условиям, математическая модель вычисления величины общей экономической стоимости ресурсного потенциала лесных земель за весь период территории лесного фонда ($C^{общ}(T)$), с учётом дисконтирования стоимостей по периодам лесопользования, к моменту оценки имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} C^{общ}(T) = \sum_{t_i=0}^T \frac{C^H(t_i) + C^{HH}(t_i)}{(1+\epsilon)^{t_i}} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+\epsilon)^T}\right) \rightarrow \max \\ C^{общ}(t_i) = C^H(t_i) + C^{HH}(t_i) \\ C^H(t_i) = \sum_{l=1}^L C_{il}^3(t_i) \times (Q_{il}^3(t_i) + Q_{il}^3(t_i - 1) \cdot K_3) - P'_{ij}(t_i)\Delta t \\ C^{HH}(t_i) = C_{кoc}(t_i) + C_{oa}(t_i) + C_{cl}(t_i) \\ T = \sum_{i=0}^T t_i \end{array} \right. \quad (1)$$

где $C_{il}^3(t_i)$ — стоимость древесного сырья l -й породы на i -м гектаре на корню (руб./с i -го гектара) на временной интервал t_i ;

$Q_{il}^3(t_i)$ — объём запаса древесины на корню l -й породы на временной интервал t_i ;

K_3 — возрастной коэффициент для перевода запаса древесины возраста $(t_i - 1)$ в запас спелой древесины возраста t_i ;

$P'_{ij}(t_i)$ — нереализация запаса l -й породы ввиду неосвоения территории лесного фонда и отсутствия ТСЛФ на временной интервал t_i (руб./с i -го гектара);

$C_{кoc}(t_i)$ — косвенная стоимость использования (руб./с i -го гектара) на интервал времени t_i ;

$C_{oa}(t_i)$ — стоимость отложенной альтернативы (руб./с i -го гектара) на интервал времени t_i ;

$C_{cl}(t_i)$ — стоимость существования лесов (руб./с i -го гектара) на интервал времени t_i ;

t_i — период освоения территории лесного фонда (лет);
 Δt — период неосвоения территории лесного фонда;
 i — порядковый номер периода освоения лесных земель;
 T — общий период освоения лесных земель (лет).

В косвенную стоимость использования лесных ресурсов нами предлагается включать: стоимость ягод, грибов, лекарственных трав и т. п. (т. е. d -х лесных ресурсов), стоимость продуктов от подсочки леса (приводится отдельным показателем виду различия вычисления по отношению к определению стоимостной оценки d -х лесных ресурсов).

Таким образом, косвенная стоимость использования лесных благ определяется выражением (2):

$$\begin{cases} C_{\text{кос}}(t_i) = C_g(t_i) + C_{\text{под}}(t_i) + C_{\text{поб}}(t_i) \\ C_g(t_i) = \sum_{d=1}^D C_{id}^3(t_i) \cdot Q_{id}^3(t_i) - P_i'' \cdot \Delta t(t_i) \\ C_{\text{под}}(t_i) = C^{\text{год}} \cdot K_p^{\text{об}} \\ C_{\text{поб}}(t_i) = 100 C_{\text{в}}^{\text{год}} \end{cases}, \quad (2)$$

где $Q_{id}^3(t_i)$ — объём запаса d -го лесного ресурса на момент времени t_i ;

$C_g(t_i)$ — стоимость d -х лесных ресурсов (руб./с i -го гектара) на интервал времени t_i ;

$C_{\text{под}}(t_i)$ — стоимостная оценка подсочки (руб./с i -го гектара) на момент времени t_i ;

$C_{\text{поб}}(t_i)$ — стоимостная оценка побочного лесопользования (рекреации и других целей) принимается, согласно источнику [6], равной стократной величине годового размера лесных податей, взимаемых за соответствующий вид лесопользования на оцениваемом участке лесных земель (руб./с i -го гектара), 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 [6];

$P_{ij}''(t_i)$ — нереализация запаса d -го лесного ресурса, невозможность подсочки и планируемых видов побочного лесопользования от неосвоения территории лесного фонда, ввиду отсутствия ТСЛФ, на интервал времени t_i (руб./с i -го гектара).

Сумма показателей ($P_i'(t_i)\Delta t + P_{ij}''(t_i)\Delta t$) носит двойственный характер, её можно рассматривать как эффект финансовых потерь от бездорожья и как стоимость отложенной альтернативы ($C_{\text{оа}}(t_i)$) (доходы будущих периодов, ввиду отсутствия ТСЛФ, на территориях, подлежащих освоению, на момент времени t_i).

Стоимость существования лесов определяется согласно выражению (3):

$$\begin{cases} C_{\text{сл}}(t_i) = C_{\text{пф}}(t_i) + C_h(t_i) \\ C_{\text{пф}}(t_i) = (Q_{il}^3(t_i) \cdot K_i^{\text{пор}}(t_i)) \cdot C^{\text{в}} \end{cases} \quad (3)$$

где $C_h(t_i)$ – прибыль от не включённых в показатель $C_{пф}(t_i)$ полезных (в т. ч. средо- и почвозащитных) функций леса (руб./га) на момент времени t_i ;

$C_{пф}(t_i)$ — прибыль от продуцирования углерод-депонирующей функции лесов на 1 га леса (руб./га) на момент времени t_i ;

$K_i^{пор}(t_i)$ — коэффициент поглощения CO_2 лесами l -й породы i -го гектара на момент времени t_i ;

C^B — удельная оценочная стоимость функции поглощения CO_2 на момент времени t_i (руб./га).

Следует отметить, что расчёт показателей косвенной стоимости использования лесных ресурсов и так называемых «невесомых» полезностей леса подробно рассмотрен в работе [9].

При реализации предложенной нами математической модели следует учитывать следующие ограничения:

1. Окупаемость проекта планирования ТСЛФ:

$$C^{общ}(T) > Z_3(T), \quad (4)$$

где показатель $Z_3(T)$ включает 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.

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

$$Z_3(T) \leq \Pi_{max}, \quad (5)$$

где Π_{max} — финансовые возможности предприятия (руб.).

3. Доступность лесных территорий с учётом эколого-социоэкономического аспекта их использования:

$$P'_i(t_i)\Delta t + P''_{ij}(t_i) < C_{кос}(t_i) + C_n + C_{сл}(t_i). \quad (6)$$

4. Естественная неотрицательность грузопотоков:

$$Q_{ii}^z(t_i) \geq 0, \quad Q_{id}^z(t_i) \geq 0, \quad l = 1, \dots, L; \quad d = 1, \dots, D; \quad t_i = 0, \dots, T. \quad (7)$$

Предлагаемая в статье и основанная на комплексном подходе к лесопользованию математическая модель в динамической постановке обеспечивает рациональный расчёт величины суммарной экономической стоимости лесных благ с учётом уровня развития ТСЛФ.

4. Обсуждение и заключение

Представленная в данной статье математическая модель в динамической постановке предназначена для определения показателя общей экономической стоимости ресурсного потенциала территорий лесного фонда с учётом уровня развития лесотранспортных сетей. Обозначенная модель носит комплексный характер, обеспечивающий учёт всех материальных и нематериальных выгод от лесопользования в динамике. Подобное моделирование позволяет:

- рассчитывать отмеченную стоимость с учётом эколого-социальноэкономической доступности лесных территорий;
- распределить стоимостные характеристики ресурсов лесных земель в зависимости от целей их использования;
- более объективно определить величину арендной платы за пользование лесным фондом.

Исследование выполнено в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства».

Список литературы

1. Филюшкина Г. Н. Рента как критерий экономической доступности лесных ресурсов // Актуальные проблемы лесопромышленных производств. Петрозаводск, 2002. С. 22—25.
2. Романчиков А. Ю. Кадастровая оценка покрытых древесной растительностью лесных земель таёжной зоны Северо-Запада Российской Федерации при многоцелевом использовании их ресурсного потенциала: Дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2017. 231 с.
3. Пфаненштиль И. В. Принципы определения эколого-экономической доступности ресурсов Красноярского края: Дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2002. 128 с.
4. Куницкая О. А., Никитина Е. И. Экологические аспекты выборочных рубок леса // Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации: Сб. ст. III Междунар. научно-техн. конф. «Минские научные чтения — 2020»: В 3 т. / Белорус. гос. технол. ун-т, Представительство Федер. агентства по делам СНГ, соотечественников, проживающих за рубежом, и по международному гуманитарному сотрудничеству (Россотрудничество) в Республике Беларусь. Минск, 2021. С. 286—291.
5. Cultivation of the targeted forest plantations / O. Kunickaya, V. Tanyukevich, D. Khmeleva [et al.] // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. Vol. 8, no. 4. P. 1385—1393.
6. Болотов О. В., Ельдештейн Ю. М., Болотова А. С. Основы расчёта и планирования устойчивого управления лесопользованием: [монография]. Красноярск: СибГТУ, 2005. 180 с.
7. Куницкая О. А., Новгородов Д. В., Марков О. Б. Проблемы эффективной переработки повреждённой лесным пожаром древесины // Комплексные вопросы аграрной науки и образования: Сб. науч. ст. по материалам Внутривузов. научно-практич. конф., посвящённой 65-летию высш. аграр. образования Республики Саха (Якутия)

- и Всерос. студ. научно-практич. конф. с междунар. участием в рамках «Северного форума — 2021». Якутск, 2021. С. 285—291.
8. Ефимова Н. Б. Формирование эколого-экономического механизма устойчивого лесопользования в малолесных районах: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. Ставрополь, 2013. 24 с.
 9. Ефимова Н. Б. Эколого-экономическая оценка стоимости лесных ресурсов в Волгоградской области // Региональная экономика. Экономика и природопользование. 2012. № 5 (263). С. 37—42.
 10. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia / S. S. Morkovina, O. Kunickaya, L. Dolmatova [et al.] // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. Vol. 18, no. 2. P. 19—26.
 11. Прешкин Г. А. Анализ экономических факторов формирования стоимости лесных ресурсов // Лесной журнал. 2011. № 1. С. 131—136.
 12. Развитие цифрового учёта круглых лесоматериалов / О. А. Куницкая, Н. Л. Беляев, В. В. Швецова [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 2 (54). С. 55—63.
 13. Niskanen A., Petrov A., Filoushkina G. Economic accessibility of forest resources in Northwest Russia // Scientific paper presented in Biennial meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics and 3rd Berkeley-KVL Conference of Natural Resource Management May 21—25. 2002. Gilleleje, Denmark.
 14. Васильева Е. Ф., Токмашев А. А., Давыдова А. Л. Интегральный подход к определению показателя общей экономической стоимости лесных ресурсов с учётом уровня развития транспортной сети // Эффективный ответ на современные вызовы с учётом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Материалы XIII Междунар. научно-техн. конф. / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2021. С. 598—599.

References

1. Filyushkina G. N. Rent as a criterion of economic availability of forest resources. *Actual problems of timber industries*. Petrozavodsk, 2002, pp. 22—25. (In Russ.)
2. Romanchikov A. Y. *Cadastral assessment of forest lands covered with woody vegetation of the taiga zone of the North-West of the Russian Federation with multipurpose use of their resource potential*. Ph. St. Petersburg, 2017. 231 p. (In Russ.)
3. Pfanenstil I. V. *Principles of determining the environmental and economic availability of resources of the Krasnoyarsk Territory*. Ph. Krasnoyarsk, 2002. 128 p. (In Russ.)
4. Kunickaya O. A., Nikitina E. I. Ecological aspects of selective felling. *Ecological, economic and technological aspects of sustainable development of the Republic of Belarus and Russian Federation. collection of articles of the III International Scientific and Technical Conference «Minsk Scientific Readings — 2020»: in 3 volumes*. Belarusian State Technological University, Branch of the Federal Agency on CIS Affairs, Compatriots Living Abroad and International Humanitarian Cooperation (Rossotrudnichestvo) in the Republic of Belarus. Minsk, 2021, pp. 286—291. (In Russ.)
5. 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, vol. 8, no. 4, pp. 1385—1393.
6. Bolotov O. V., Yeldeshtein Yu. M., Bolotova A. S. *The bases of calculation and planning of sustainable forest management: [monograph]*. Krasnoyarsk, SibGTU, 2005. 180 p. (In Russ.)

7. Kunitskaya O. A., Novgorodov D. V., Markov O. B. Problems of effective processing of wood damaged by forest fires. *Complex issues of agrarian science and education. Collection of scientific articles on the materials of the university scientific conference dedicated to the 65th anniversary of Higher Agrarian Education of the Republic of Sakha (Yakutia) and the All-Russian student scientific-practical conference with international participation in the framework of the «Northern Forum — 2021»*. Yakutsk, 2021, pp. 285—291. (In Russ.)
8. Efimova N. B. *Formation of an ecological and economic mechanism for sustainable forest management in sparsely forested areas. Ph. D. in Economics*. Stavropol, 2013. 24 p. (In Russ.)
9. Efimova N. B. Ecological and economic assessment of the value of forest resources in the Volgograd region. *Regional Economics. Economics and Nature Management*, 2012, no. 5 (263). 2012, pp. 37—42. (In Russ.)
10. Morkovina 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, vol. 18, no. 2, pp. 19—26.
11. Preshkin G. A. Analysis of economic factors of formation of the cost of forest resources. *Lesnoy zhurnal'*, 2011, no. 1, pp. 131—136. (In Russ.)
12. Kunitskaya O. A., Belyaev N. L., Shvetsova V. V., Rudov M. E., Grigorev V. I. Development of digital accounting of roundwood. *Systems. Methods. Technologies*, 2022, no. 2 (54), pp. 55—63. (In Russ.)
13. Niskanen A., Petrov A., Filoushkina G. Economic accessibility of forest resources in Northwest Russia. *Scientific paper presented in Biennial meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics and 3rd Berkeley-KVL Conference of Natural Resource Management May 21—25, 2002. Gilleleje, Denmark*.
14. Vasilyeva E. F., Tokmashev A. A., Davydova A. L. Integral approach to determining the indicator of the total economic value of forest resources, taking into account the level of development of the transport network. *Effective response to contemporary challenges with the interaction of man and nature, man and technology: socio-economic and environmental problems of forest complex: Materials XIII International Scientific and Technical Conference. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural State Forest Technical University. Yekaterinburg, 2021, pp. 598—599. (In Russ.)*