

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ТРАНСПОРТНЫЕ ЗАТРАТЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

кандидат технических наук, доцент **А.П. Мохирев**

студентка магистратуры **М.О. Позднякова**

студентка магистратуры **Т.С. Гудень**

студент **В.Д. Сухинин**

Филиал Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева
в г. Лесосибирске, г. Лесосибирск, Российская Федерация

В статье рассматривается вопрос об определении ключевых природно-климатических факторов, оказывающих влияние на стоимость строительства и содержания лесных дорог, а также на удельную стоимость вывозки заготовленной древесины. Авторами рассмотрены основные разновидности рельефов местности, оценено их влияние на стоимость транспортировки древесины. Определены основные группы грунтов и их влияние на стоимость транспортировки леса. Выведены коэффициенты, искажающие стоимость транспортировки древесины в зависимости от различных природно-климатических условий местности. Определены основные укрупненные сезоны, разделяющие год на различные климатические периоды. Между предложенными периодами значительно изменяются природно-производственные условия транспортировки древесины, а значит, пропускная способность дорог, стоимость строительства и себестоимость вывозки. Для анализа выбран Гремучинский лесозаготовительный участок ЗАО «Новоенисейский лесохимический комплекс» (Красноярский край). Авторами исследована транспортная инфраструктура участка, сеть лесовозных дорог, карты рельефа местности, почв и гидрографии. В ходе исследования была применена авторская программа – географическая информационно-аналитическая система. Получены зависимости, описывающие изменение величины транспортных расходов в течение различных климатических сезонов в различных типах природных условий. В итоге получены и описаны данные о стоимости вывозки заготовленной древесины к нижнему складу по дорогам круглогодичного действия в зависимости от сезона, рельефа местности и типов почв на конкретном участке. Проведен анализ данных, выявлены наиболее благоприятные условия для транспортировки заготовленного леса. Полученные данные могут быть использованы для формирования оптимального сценария транспортировки заготовленной древесины с лесосеки до потребителя.

Ключевые слова: транспорт леса, доступность древесных ресурсов, строительство лесных дорог, оптимизация транспортных расходов

INFLUENCE OF NATURAL AND INDUSTRIAL FACTORS ON THE TRANSPORT COSTS OF FORESTRY PRODUCTION INDUSTRY

PhD (Engineering), Associate Professor **A.P. Mokhirev**

Master's Degree student **M.O. Pozdnyakova**

Master's Degree student **T.S. Guden**

student **V.D. Suhinin**

Lesosibirsk Branch Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Lesosibirsk, Russia

Abstract

The article deals with the issue of determining the key climatic factors that have an impact on the cost of construction and maintenance of forest roads, as well as the unit cost of the harvested wood. The authors consider the main types of terrain, evaluated their impact on the cost of transportation of wood. The main groups of soils and their impact on the cost of transportation of forest. Distorting factors that change the cost of wood transportation depending

on different climatic conditions of the area are derived. The main enlarged seasons dividing the year into different climatic periods are determined. For analysis of the selected Gremuchinskij the logging unit, JS "Novoyeniseiskiy Wood Chemical Complex" (Krasnoyarsk territory). The authors studied the transport infrastructure of the site, a network of logging roads, maps of terrain, soil and hydrography. In the course of the study, the author's program of geas was applied. The dependences describing the change in the value of transport costs during different climatic seasons in different types of natural conditions are obtained. As a result, obtained and described data on the cost of removal of harvested wood to the lower warehouse on the roads year-round depending on the season, terrain and soil types in a particular area. The analysis of the data revealed the most favorable conditions for the transportation of harvested wood. The data obtained can be used for the formation of the optimal scenario of transportation in logging companies.

Key words: forest transport, availability of wood resources, construction of forest roads, optimization of transportation costs

Территории лесного фонда России характеризуются разнородными и достаточно сложными природно-климатическими условиями. Это отражается как на процессе заготовки древесины, так и на ее транспортировке.

Природные факторы оказывают влияние на решение задач минимизации затрат на вывозку древесины с места валки до конечного потребителя, а также затрат на строительство и содержание лесных дорог. Среди таких факторов выделяют: тип леса, почвенно-грунтовые и гидрологические условия, рельеф местности [14].

На сегодняшний день разработаны почвенно-типологические классификации, сопряженные с комплексом лесохозяйственных мероприятий, в которых дается характеристика почвенно-типологических групп, а лесоустройство проводится одновременно с почвенной съемкой [16]. Требуемая конструкция и стоимость строительства дорог зависят от показателей прочности грунтов, по которым прокладывается маршрут [13]. Основным показателем прочности грунта является модуль упругости, зависящий от типа грунта и степени увлажнения.

В работе Т.В. Коваленко поднимаются вопросы разделения арендных лесных территорий на зоны по климатическим характеристикам с целью повышения эффективности транспортировки древесины [12]. Автором предлагаются укрупненные группы зонирования лесных территорий с учетом сезонности вывозки древесины. Определение групп зонирования проводится по признаку несущей способности почв или грунтово-гидрологических условий, поскольку этот параметр в

наибольшей степени подвержен сезонным колебаниям в течение года. Сезонное группирование зон заготовки древесины по критерию транспортной доступности леса позволяет производить сезонное планирование лесозаготовительного процесса [11]. Это дает возможность синхронизировать процессы валки леса и вывозки его до пункта потребления, что делает поставку лесоматериалов на предприятие более ритмичной и снижает потери от продолжительного хранения древесины в лесных терминалах [19].

В основе поиска оптимальной проектируемой сети лесных дорог лежит определение себестоимости единицы заготовленной продукции (круглых лесоматериалов). Транспортные расходы влияют как на экономические, так и на экологические последствия работы лесопромышленных предприятий [6]. Поиск оптимального варианта заключается в том, что повышение качества автодороги (магистральной, уса и др.) приводит к ее удорожанию, но одновременно уменьшает затраты непосредственно на вывозку древесины. Представленное исследование нацелено на изучение зависимости расходов на транспортировку заготовленной древесины с лесосеки до пункта потребления от природно-климатических условий местности. Результатом работы станет разработка объективных рекомендаций по выбору типа проектируемой дороги на каждом отдельном участке транспортной сети в зависимости от природных факторов [17].

Продолжительность и качество работы автодороги зависит от множества различных факторов, в том числе природно-производственных.

Наибольшее влияние на данный процесс оказывают климат, а также рельеф и почвенно-геологическое строение местности [14]. Достаточно сложно определить влияние каждого отдельного фактора на функционирование автодороги, поскольку все они находятся в тесной взаимосвязи. Поэтому возникает необходимость комплексного рассмотрения всех ключевых факторов при оценке природно-климатических условий территории проложения дороги. Рельеф местности обуславливает применяемые при выборе трассы продольные уклоны, необходимость развития линии по склонам и обхода заболоченных и затапливаемых мест. Условия рельефа также отражаются в процессе эксплуатации дороги на стоимости автомобильных перевозок. Крутые подъемы могут вызывать необходимость снижения нагрузок на транспортные средства и повышенный расход топлива.

Таким образом, рельеф местности оказывает влияние на стоимость транспортировки леса через изменение затрат на строительство (содержание) дорог и вывозку древесины.

По сложности строительства дорог выделяют пять категорий рельефа [7]:

- равнинный (1);
- слабохолмистый (2);
- сильно пересеченный (3);
- гористый (4);
- горный (5).

Грунты и почвы в лесозаготовительном процессе рассматриваются как единое целое и оцениваются в отношении проходимости по ним различных машин. Проходимость является ключевым показателем для оценки пригодности почв для лесозаготовительной деятельности. Ее оценивают по значению удельной нагрузки от движителя на грунт (q) к предельной несущей способности грунта (p). При значении $q/p < 1$ проходимость обеспечивается при многократных проходах транспортных средств; при $1 < q/p < 1,5$ проходимость обеспечивается при малом числе проходов по одному следу; при $1,5 < q/p < 2$ проходимость

становится затруднительной при 2-3 проходах по одному следу; при $q/p > 2$ проходимость не обеспечивается [9, 18, 2].

По значению показателя проходимости лесозаготовительных машин почвы можно разделить на 4 категории (табл. 1).

Несущая способность и пучинистость грунта зависят от гранулометрического состава и от накопления влаги (табл. 2). На основании гранулометрического состава грунта определяют способность грунтов к морозному пучению [1, 10].

В процессе оценки влияния природно-климатических условий местности на стоимость транспортировки древесины важным аспектом является периодичность или сезонность времени – изменение природных условий сезонного характера. В связи с этим авторами предлагается разделить лесозаготовительный год в условиях Красноярского края на пять периодов: зимний, зимне-весенний, весенний, летний, осенний [4].

Зимний период является наиболее благоприятным периодом для транспортировки лесоматериалов из лесосек в связи со стабильной отрицательной температурой воздуха. Сроки данного периода находятся ориентировочно в промежутках между 10 ноября и 20 марта и зависят от наступления заморозков осенью и потепления весной. Зимний период является наиболее производительным для вывозки древесины по дорогам круглогодичного пользования. При стабильно низких температурах дороги выдерживают более высокие нагрузки, увеличивается их проходимость, при этом затраты на ремонт и восстановление автодорог снижаются.

Следующий период – *зимне-весенний*. Его сроки находятся между 20 марта и 20 апреля. Этот период характеризуется потеплением, в связи с чем верхний слой зимних дорог начинает таять и разрушается. В этот период снижается эффективность лесозаготовительного процесса: снижаются объемы вывозки, растут эксплуатационные расходы.

Таблица 1

| Категории почв по значениям проходимости | | | |
|--|---|---|---|
| Название | Несущая способность, кг/см ² | Виды почв | Характеристика |
| Сухие | 3-4 | Известняки, метаморфические и изверженные почвы | Позволяют использовать лесные машины в течение всего года |
| Свежие | Верхний предел несущей способности таких грунтов – 2 кг/см ² , нижний – 1,4 кг/см ² | Супесчаные почвы, мелкие суглинки и песчаники | Допускают многократный проход техники по одному следу, в периоды весенней и осенней распутицы их несущая способность заметно падает, но летние осадки на проходимость машин влияют мало |
| Влажные | Верхний предел несущей способности данных грунтов – 1,4 кг/см ² , нижний – 0,5-0,6 кг/см ² | Суглинистые и глинистые почвы | Под воздействием техники такой дорожный слой быстро разрушается, и на дорогах образуются глубокие колеи |
| Избыточно увлажненные | Несущая способность в период избыточного увлажнения резко снижается, приводят к интенсивному колееобразованию, увеличению коэффициента сопротивления движению и снижению коэффициента сцепления | Торфяно-болотистые, перегнойно-глеевые | Характеризуются пониженной проходимость машин, в периоды распутицы дороги становятся непроезжими, дорожная колея заполнена жидкой грязью даже в сухую погоду |

Таблица 2

Классификация грунтов в зависимости от несущей способности и пучинистости

| Класс несущей способности | Грунты (ГОСТ 25100-2011) | Класс пучинистости |
|---------------------------|---|--|
| A | Крупнообломочные грунты с заполнителем до 10 % по массе | Практически непучинистый |
| B | Крупнообломочные грунты с заполнителем до 10 % по массе | |
| C | Пески гравелистые, пески крупные | |
| D | Пески средние, пески мелкие при $S_w \leq 0,6$ | |
| E | Пески мелкие при $0,6 \leq S_w \leq 0,8$, крупнообломочные с заполнителем (глинистым, песком пылеватым и мелким) от 10 до 30 % по массе | Слабопучинистый |
| F | Пески мелкие и пылеватые при $0,8 \leq S_w \leq 0,95$, крупнообломочные с заполнителем (глинистым, песком пылеватым и мелким) более 30 % по массе, глинистые при $0,25 < I \leq 0,5$ | Среднепучинистый |
| G | Глинистые грунты при $I > 0,5$, пески пылеватые и мелкие при $S_w > 0,95$ | Сильно пучинистый и чрезмерно пучинистый |

Весенний период характеризуется разрушением лесовозных дорог и приостановкой вывозки древесины. В мае обилие влаги в почвогрунтах становится максимальным. Активное таяние снега приводит к резкому повышению уровня грунтовых вод, разлитию ручьев и рек, что разрушает временные переправы и приводит к затоплению низменностей. В связи с этим грунт становится переувлажненным, проходимость снижается до критических значений, зачастую передвижение гусеничной техники не только затруднено, но и невозможно. Заготовительный процесс в этот

период ведется в небольших объемах на сухих и свежих почвах, вблизи дорог круглогодичного пользования. Данный период длится с 20 апреля до конца июня.

Летний период. С наступлением устойчивой жаркой погоды в начале июля лесовозные дороги подсыхают, испаря лишнюю влагу. Это повышает проходимость почв, в том числе глинистых, и позволяет возобновить активную перевозку древесины с лесных складов. В этот период остается вероятность грозовых ливневых дождей, повышающих уровень грунтовых вод, которые

могут остановить вывозку на несколько дней. Но в июле-августе, когда постоянно поддерживается довольно высокая температура, дороги быстро просыхают.

Нижний склад предприятия располагают на берегах рек, поэтому с начала июня открывается навигация и запускается процесс плотового сплава древесины по воде. Данный способ является наиболее дешевым из всех возможных, поэтому предприятия стремятся переправить большую часть заготовленного леса именно в плотях. Сплав древесины по водным путям можно разделить на два подпериода. Первый – с начала июня по конец июля, когда уровень вод в реках заметно снижается, второй – с начала августа до середины октября. Предприятия стремятся переправить как можно больший объем древесины по реке в первый подпериод.

В начале августа уровень воды в реке заметно падает, что создаёт дополнительные сложности для транспортировки древесины.

Осенний период начинается в сентябре и длится до середины ноября. В это время начинается осенняя распутица, и вывозка, в основном, производится по дорогам с твердым покрытием. Отмечается снижение несущей способности грунтов, что замедляет вывозку древесины. Возрастают расходы на эксплуатацию, ремонт и содержание автодорог, увеличивая себестоимость транспортировки леса. Сроки ввода временных дорог зимнего действия в эксплуатацию зависят от интенсивности промерзания, которая, в свою очередь, зависит от динамики отрицательных суточных температур, типа грунта, его влажности, наличия снежного покрова, механического воздействия и других факторов.

Для анализа зависимости стоимости транспортировки древесины от природных факторов выбран Гремучинский лесозаготовительный участок (ЛЗУ) ЗАО «Новоенсейский ЛХК». Авторами исследована транспортная инфраструктура ЛЗУ, сеть лесовозных дорог, а также карты рельефа местности, почв и гидрографии. В ходе исследования была применена авторская программа ГИАС [4, 15].

Рассматривая структуру себестоимости строительства и содержания лесовозных дорог, следует разделять прямые и накладные расходы. Под прямыми затратами подразумевают стоимость материалов, использованных в ходе дорожных работ; заработную плату рабочих основного производства; эксплуатационные и амортизационные расходы использования дорожно-строительных машин (ГСМ и обслуживание). Накладные расходы объединяют в себе такие группы затрат, как административно-хозяйственные расходы; расходы обслуживающего производства и т.д.

В общем виде структуру себестоимости строительства и содержания лесовозных дорог можно представить следующим образом:

$$C_{дор} = C_m + C_{зн} + C_{гсм} + C_{об} + C_n, \quad (1)$$

где $C_{дор}$ – себестоимость строительства и содержания дорог; C_m – стоимость материалов, израсходованных на производство дорожных работ; $C_{зн}$ – основная заработная плата рабочих; $C_{гсм}$ – расходы на эксплуатацию дорожно-строительных машин (ГСМ); $C_{об}$ – расходы на эксплуатацию дорожно-строительных машин (обслуживание); C_n – прочие расходы.

Однако в процессе строительства и содержания дорог структура себестоимости может претерпевать существенные колебания даже в рамках одного дорожно-строительного предприятия. В общем случае до 50 % от общей суммы прямых затрат занимают расходы по статье «Материалы, полуфабрикаты, конструкции, детали», что обусловлено высокой материалоемкостью дорожно-строительных работ. Расходы на эксплуатацию машин имеют удельный вес до 20 %, это более высокое значение, чем в среднем по строительству, и обусловлено это высоким уровнем механизации дорожных работ. В объеме эксплуатационных расходов затраты на ГСМ составляют около 35 %. Заработная плата рабочих основного производства составляет в среднем 24 % от общей величины прямых затрат [20].

Структуру себестоимости вывозки лесоматериалов с лесосеки до пункта потребления можно представить следующим образом:

$$C_g = C_{зн} + C_{гсм} + C_o + C_n, \quad (2)$$

где C_g – стоимость вывозки леса; $C_{зн}$ – заработная плата рабочих по вывозке леса;

$C_{гсм}$ – затраты на ГСМ транспортных машин;
 C_o – затраты на обслуживание транспортных машин;
 C_n – прочие затраты.

Заработная плата рабочих основного производства преобладает в структуре расходов на вывозку леса и занимает до 36,6 % от общей себестоимости вывозки. Порядка 30,2 % – это затраты на ГСМ, удельный вес затрат на обслуживание транспортных машин – 16,1 % [8, 13].

Для разных периодов времени были рассчитаны стоимость транспортировки 1 м³ древесины и стоимость содержания 1 км дороги круглогодичного действия. Расчеты стоимости сведены в табл. 3 [5].

Далее произведен расчет стоимости строительства дорог в зависимости от рельефа и типов почв с учетом периодов времени по формуле

$$C_{ij} = \frac{C_z^{ст} \cdot l_{ij} \cdot k_{ch}^{ст}}{U_{ij} \cdot k_{ch}} + C_z^{код} \cdot l_{ij} \cdot k_{ch}^{код} + C_z^p \cdot i, \quad (3)$$

где C_{ij} – стоимость строительства участка транспортного пути, проходящего от i -го к j -му участку, приходящийся на один кубометр транспортируемого максимального потока в определенный период, р./м³;

$C_z^{код} \cdot l_i$ – стоимость содержания в рабочем состоянии участка транспортного пути, проходя-

щего от i -го к j -му участку, приходящийся на один кубометр транспортируемого максимального потока в определенный период, р./м³;

C_z^p – стоимость транспортировки одного кубометра древесины по участку транспортного пути, проходящего от i -го к j -му участку в определенный период, р./м³.

Результаты расчета стоимости строительства дорог в зависимости от рельефа и типа почв с учетом периодов времени приведены в табл. 3.

Для исследования влияния природных факторов (рельеф местности, типы почв) на стоимость транспортировки древесины авторами выведена система искажающих коэффициентов (табл. 4, 5) [5].

Для решения поставленной задачи был произведен расчетный эксперимент, в котором исследовались дороги круглогодичного действия. Общие транспортные затраты (строительство, содержание и вывозка древесины), приходящиеся на один кубометр древесины по дороге круглогодичного действия на 1 км дороги варьируются в пределах от 67 до 146 рублей в зависимости от периодов времени, которые приведены в табл. 6.

Результаты расчета стоимости дорог при различных типах рельефа и видах почв с учетом периодов времени можно представить в виде графика (рис. 1).

Таблица 3

Транспортные затраты при заготовке древесины на Гремучинском ЛЗУ

| Затраты | 1 период | 2 период | 3 период | 4 период | 5 период |
|--|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | зимний (с 10.11 по 20.03) | Зимне-весенний (с 21.03 по 20.04) | весенний (с 21.04 по 30.06) | летний (с 1.07 по 31.08) | осенний (с 1.09 по 09.11) |
| Стоимость транспортировки древесины по дороге круглогодичного действия, р./м ³ км | 4 | 4,8 | 5,2 | 5,2 | 6 |
| Стоимость содержания дороги круглогодичного действия, р./км | 30000 | 30500 | 29000 | 27000 | 27500 |

Таблица 4

Значения коэффициента, искажающего стоимость вывозки древесины в различных рельефах

| Категория сложности рельефа | Общий коэффициент изменения стоимости вывозки древесины |
|-----------------------------|---|
| Равнинный | 1,21 |
| Слабохолмистый | 1,24-1,27 |
| Сильно пересеченный | 1,29-1,37 |
| Гористый | 1,39-1,51 |
| Горный | 1,61 |

Таблица 5

Значения коэффициента, искажающего стоимость вывозки древесины на различных типах почв

| Типы почвы | 1 период | 2 период | 3 период | 4 период | 5 период |
|-------------------------------|----------|----------------|----------|----------|----------|
| | зимний | зимне-весенний | весенний | летний | осенний |
| Известняки | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.3 |
| Суглинок | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 2 | 2.2 |
| Метаморфические и изверженные | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Песчаники | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1 | 1.3 |
| Плотные глины | 2.39 | 2.3 | 2.3 | 2.1 | 2.3 |

Таблица 6

Транспортные затраты по дорогам круглогодичного назначения в зависимости от периода, рельефа местности и типа почв, р./ м³км

| Тип рельефа | Тип почвы | Периоды | | | | |
|---------------------|-------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Равнинный | известняки | 67.00 | 97.26 | 99.56 | 98.56 | 97.00 |
| | суглинок | 106.00 | 130.81 | 128.56 | 117.46 | 121.75 |
| | метаморфические и изверженные | 67.00 | 94.21 | 93.76 | 90.46 | 88.75 |
| | песчаники | 70.00 | 100.31 | 102.46 | 90.46 | 97.00 |
| | плотные глины | 108.70 | 133.86 | 131.46 | 120.16 | 124.50 |
| Слабохолмистый | известняки | 68.50 | 98.79 | 101.01 | 99.91 | 98.38 |
| | суглинок | 107.50 | 132.34 | 130.01 | 118.81 | 123.13 |
| | метаморфические и изверженные | 68.50 | 95.74 | 95.21 | 91.81 | 90.13 |
| | песчаники | 71.50 | 101.84 | 103.91 | 91.81 | 98.38 |
| | плотные глины | 110.20 | 135.39 | 132.91 | 121.51 | 125.88 |
| Сильно пересеченный | известняки | 71.50 | 101.84 | 103.91 | 102.61 | 101.13 |
| | суглинок | 110.50 | 135.39 | 132.91 | 121.51 | 125.88 |
| | метаморфические и изверженные | 71.50 | 98.79 | 98.11 | 94.51 | 92.88 |
| | песчаники | 74.50 | 104.89 | 106.81 | 94.51 | 101.13 |
| | плотные глины | 113.20 | 138.44 | 135.81 | 124.21 | 128.63 |
| Гористый | известняки | 76.00 | 106.41 | 108.26 | 106.66 | 105.25 |
| | суглинок | 115.00 | 139.96 | 137.26 | 125.56 | 130.00 |
| | метаморфические и изверженные | 76.00 | 103.36 | 102.46 | 98.56 | 97.00 |
| | песчаники | 79.00 | 109.46 | 111.16 | 98.56 | 105.25 |
| | плотные глины | 117.70 | 143.01 | 140.16 | 128.26 | 132.75 |
| Горный | известняки | 79.00 | 109.46 | 111.16 | 109.36 | 108.00 |
| | суглинок | 118.00 | 143.01 | 140.16 | 128.26 | 132.75 |
| | метаморфические и изверженные | 79.00 | 106.41 | 105.36 | 101.26 | 99.75 |
| | песчаники | 82.00 | 112.51 | 114.06 | 101.26 | 108.00 |
| | плотные глины | 120.70 | 146.06 | 143.06 | 130.96 | 135.50 |

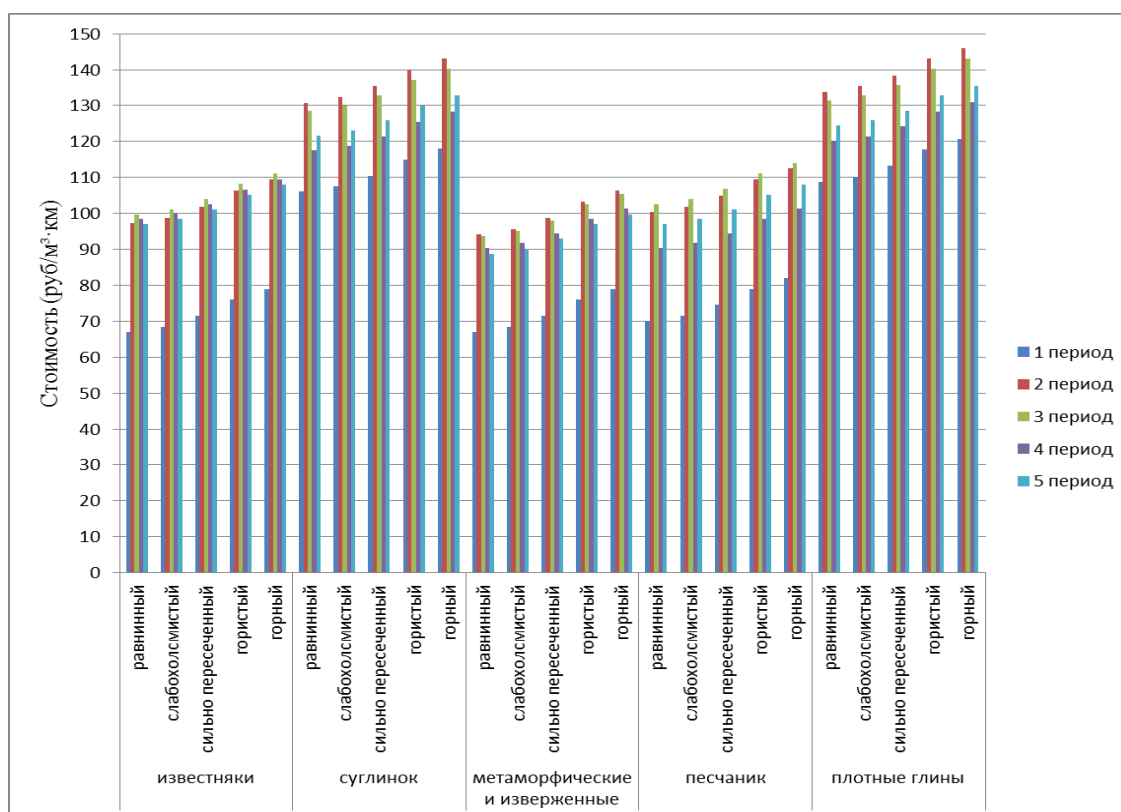


Рис. 1. График зависимости транспортных затрат вывозки древесины от природных факторов

Отсюда следует, что стоимость расходов по доставке древесины с лесных участков до потребителя сезонно изменяется в зависимости от рельефа и типа почв (несущей способности).

По рис. 1 можно определить целесообразность транспортировки древесины в тот или иной временной период. Каждому участку графика соответствует свой уровень затрат на транспортировку древесины.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

Стоимость вывозки древесины достигает своего максимума во втором временном периоде (зимне-весенний период) и существенно различается в зависимости от типа почв и рельефа местности. Самая низкая удельная стоимость вывозки в этот период наблюдается на равнинных участках с метаморфическими и изверженными почвами - 94,21 р./м³·км. Самая высокая стоимость во втором периоде определена для горного рельефа на плотных глинах – 146,06 р.

Самым благоприятным временем для вывозки заготовленного леса является первый (зимний) период, удельная стоимость транспортировки в этот период составляет от 67 р./м³·км на равнинных

участка с известняковыми и метаморфическими почвами до 120,70 р./м³·км в горной местности на глинистых почвах.

Использование установленной зависимости затрат на транспортировку древесины от природных факторов может оказать существенную помощь при планировании лесозаготовительных работ. Появляется возможность тесной синхронизации заготовки и вывозки древесины, что позволяет обеспечить более ритмичную поставку лесоматериалов на предприятие и снизить потери от продолжительного хранения древесины в лесных терминалах. Оптимизация затрат на транспортировку древесины позволяет лесозаготовительным компаниям обеспечить в краткосрочной перспективе низкий уровень себестоимости круглых лесоматериалов, что способствует улучшению финансовых показателей работы предприятия.

Эффективность использования транспортных средств на вывозке древесины может быть обеспечена при рационально организованном процессе содержания и ремонта дорог, организации оперативного управления транспортным процессом с использованием современных информационных систем.

Таким образом, разработанная методика для нахождения оптимального варианта управления грузопотоками лесопромышленного предприятия

может стать эффективным инструментом поддержки принятия управленческих решений для лесозаготовительных предприятий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-310-00311.

Библиографический список

1. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density / I. Grigorev, E. Khitrov, A. Kalistratov, M. Stepanishcheva // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2014. – P. 339-344.
2. Experimental findings in forest soil mechanics / M.F. [et al.] // EurAsian Journal of BioSciences. – 2018. – Т. 12. – № 2. – P. 277-287.
3. Henningsson, M. Optimization models for forest road upgrade planning / M. Henningsson, J. Karlsson, M. Rönnqvist // Journal of Mathematical Models and Algorithms. – 2007. – № 6(1). – P. 3-23.
4. Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk territory as a case study) / A. P. Mokhirev, M. O. Pozdnyakova, S. O. Medvedev, V. O. Mammadov // Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – № 3 (16). – P. 313-319. DOI: 10.5937/jaes16-16908.
5. Mokhirev, A. Finding the optimal route of wood transportation [Электронный ресурс] / A. Mokhirev, M. Gerasimova, M. Pozdnyakova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 226, conference 1. Режим доступа: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/226/1/012053 Doi:10.1088/1755-1315/226/1/012053.
6. Tromborg, E. Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway / E. Tromborg // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2009. – № 24 (4). – P. 354-366.
7. Бондаренко, А. В. Моделирование природно-производственных условий в задачах исследования первичного транспорта леса в горной местности / А. В. Бондаренко, В. В. Абрамов, Ф. В. Пошарников // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 203.
8. Борозна, А. А. Состояние и проблемы развития лесного комплекса / А. А. Борозна, Э. О. Салминен. – СПб., 2004. – 39 с.
9. Галактионов, О. Н. Исследование взаимосвязи технологической проходимости лесозаготовительных машин с параметрами лесной среды [Электронный ресурс] / О. Н. Галактионов, А. В. Кузнецов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4-1 (22). – С. 43. – Режим доступа: ivdon.ru/gu/magazine/archive/n4p1y2012/1145.
10. Герасимов, Ю. А. Лесные дороги / Ю. А. Герасимов. – Йоэнсуу, 2009. – 98 с.
11. Засухин, Д. П. Рекомендации по защите лесных почв от повреждения при проведении лесозаготовительных работ в Республике Коми / Д. П. Засухин, В. С. Серый, Н. С. Минин. – Сыктывкар, 2004. – 17 с.
12. Коваленко, Т. В. Использование климатической информации для организации транспортного освоения лесных массивов / Т. В. Коваленко, М. В. Коточигов // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: сб. науч. тр. – Вып. 6. – СПб., 2013. – С. 104-109.
13. Кондрашова, Е. В. Повышение эффективности транспортной работы автомобильных дорог в лесном комплексе / Е. В. Кондрашова, А. М. Волков. – Воронеж, 2010. – 232 с.
14. Мохирев, А. П. Анализ рентообразующих факторов лесозаготовок / А. П. Мохирев // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2005. – № 10. – С. 188-191.
15. Оценка доступности лесных ресурсов с использованием современных методик на базе географических информационно-аналитических систем / А. П. Мохирев, М. О. Позднякова, С. Ю. Резинкин, В. О. Мамматов // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 4. – С. 109-122. DOI: 10.12737/article_5a3cf0de38c188.71430470.
16. Невидомов, А. М. Пойменное лесоводство – новый вид зонально-географических систем ведения лесного хозяйства / А. М. Невидомов // Лесной журнал. – 2004. – № 1. – С. 7-14.
17. Петров, А. П. Лесное планирование: формирование рыночных цен на древесину на корню / А. П. Петров, Н. К. Прядилина // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : тр. XIII Междунар. евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2018. – С. 45-49.

18. Шегельман, И. Р. О потенциале гусеничных движителей лесных машин [Электронный ресурс] / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 1. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2231.

19. Щепин, Б. Ф. Влияние продолжительности хранения хлыстов на качество круглых лесоматериалов / Б. Ф. Щепин, А. С. Шулев. – М., 1976. – С. 11-12.

20. Экономика строительства : учеб. / под ред. И. С. Степанова. – М. : Юрайт-М, 2001. – 49 с.

References

1. Grigorev I., Khitrov E., Kalistratov A., Stepanishcheva M. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2014, pp. 339-344.

2. Grigorev M. F. et al. Experimental findings in forest soil mechanics. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2018. Vol. 12. no 2. pp. 277-287.

3. Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning. *Journal of Mathematical Models and Algorithms*. 2007. no 6(1). pp. 3-23.

4. Mokhirev A. P., Pozdnyakova M. O., Medvedev S. O., Mamatov V. O. Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk territory as a case study). *Journal of Applied Engineering Science*. 2018. no 3 (16). pp. 313-319 DOI: 10.5937/jaes16-16908.

5. Mokhirev A., Gerasimova M., Pozdnyakova M. Finding the optimal route of wood transportation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 226, conference 1. Available at: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/226/1/012053 Doi:10.1088/1755-1315/226/1/012053.

6. Tromborg E. Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2009. no 24 (4). pp. 354-366.

7. Bondarenko A. V., Abramov V. V., Posharnikov F. V. *Modelirovanie prirodno-proizvodstvennykh usloviy v zadachakh issledovaniya pervichnogo transporta lesa v gornoy mestnosti* [Modeling of natural and industrial conditions in the tasks of the study of primary forest transport in mountainous areas]. *Sovremennyye problem nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2012, no. 2. pp. 203 (in Russian).

8. Borozna A. A., Salminen E. O. *Sostoyanie i problem razvitiya lesnogo kompleksa* [State and problems of development of the forest complex]. St. Petersburg, 2004, 39 p. (in Russian)

9. Galaktionov O. N., Kuznetsov A. V. *Issledovanie vzaimosvyazi tekhnologicheskoy prokhozimosti lesozagotovitel'nykh mashin s parametrami lesnoy sredy* [Investigation of the relationship of technological patency of logging machines with the parameters of the forest environment]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 2012, no 4-1 (22). pp. 43. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1145 (in Russian).

10. Gerasimov Yu. A. *Lesnye dorogi* [Forest roads]. Joensuu, 2009, 98 p. (in Russian)

11. Zasukhin D. P., Seryy V. S., Minin N. S. *Rekomendatsii po zashchite lesnykh pochvot povrezhdeniya pri provedenii lesozagotovitel'nykh rabot v Respublike Komi* [Recommendations for the protection of forest soils from damage during logging operations in the Komi Republic]. Syktyvkar, 2004, 17 p. (in Russian)

12. Kovalenko T. V., Kotochigov M. V. *Ispol'zovanie klimaticheskoy informatsii dlya organizatsii transportnogo osvoeniya lesnykh massivov* [Using climate information to organize forest transport management]. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennogo kompleksa: sbornik nauchnykh rudov. Vypusk 6*. [Technology and equipment of the timber industry complex: a collection of scientific papers. Issue 6.]. St. Petersburg, 2013, pp. 104-109 (in Russian).

13. Kondrashova E. V., Volkov A. M. *Povyshenie effektivnosti transportnoy raboty avtomobil'nykh dorog v lesnom komplekse* [Improving the efficiency of the transport work of roads in the forest complex]. Voronezh, 2010, 232 p. (in Russian)

14. Mokhirev A.P. *Analiz rentoobrazuyushchih faktorov lesozagotovok* [Analysis of rent-forming factors of logging] *Aktual'nye problem lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex]. 2005, no. 10. pp. 188-191 (in Russian).

15. Mokhirev A. P., Pozdnyakova M. O., Rezinkin S. Yu., Mamatov V. O. *Otsenka dostupnosti lesnykh resursov s ispol'zovaniem sovremennykh metodik na baze geograficheskikh informatsionno-analiticheskikh sistem* [Assessment of the availability of forest resources using modern techniques based on geographic information and analytical systems]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal]. 2017, no. 4. pp. 109-122 (in Russian).

16. Nevidomov A. M. Poymennoe lesovodstvo – novyy vid zonal'no-geograficheskikh system vedeniya lesnogo khozyaystva [Inland forestry – a new kind of zonal-geographic forest management systems]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal]. 2004, no 1. pp. 7-14 (in Russian).

17. Petrov A. P., Pryadilina N. K. *Lesnoe planirovanie: formirovanie rynochnykh tsen na drevesinu na kornyu* [Forest planning: setting market prices for standing timber]. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka: trudy XIII Mezhdunarodnogo raziysskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century: works of the XIII International Eurasian Symposium]. Yekaterinburg, 2018, pp. 45-49 (in Russian).

18. Shegel'man I. R., Skrypnik V. I. *O potentsiale gusenichnykh dvizhiteley lesnykh mashin* [On the potential of tracked engines of forest machines]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 2014. № 1. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2231 (in Russian).

19. Shchepin B. F., Shulev A. S. *Vliyanie prodolzhitel'nosti khraneniya khlystov na kachestvo kruglykh lesomaterialov* [The influence of the length of storage of logs on the quality of round wood]. Moscow, 1976, pp. 11-12 (in Russian).

20. Stepanov I. S. (ed.) *Ekonomika stroitel'stva* [Construction economics]: *uchebnik dlya vuzov* [textbook for universities]. Moscow, 2001, 49 p. (in Russian)

Сведения об авторах

Мохирев Александр Петрович – доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

Позднякова Мария Олеговна – студент магистратуры Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; email: m_o_pozdnyakova@mail.ru.

Гудень Татьяна Сергеевна – студент магистратуры Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: tguden@mail.ru.

Сухинин Виталий Денисович – студент Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: vitas209@mail.ru.

Information about authors

Mokhirev Alexander Petrovich – Associate Professor of the department of technology of logging and woodworking productions, Lesosibirsk Branch Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor, Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

Pozdnyakova Mariya Olegovna – Magister of Lesosibirsk Branch Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Lesosibirsk, Russia; email: m_o_pozdnyakova@mail.ru.

Guden Tatyana Sergeevna – Magister of Lesosibirsk Branch Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: tguden@mail.ru.

Suhinin Vitalij Denisovich – student of Lesosibirsk Branch Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: vitas209@mail.ru.