

УДК 630\*31

## ЗАВИСИМОСТИ ОБЪЕМА ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ С ЛЕСНОЙ ТЕРРИТОРИИ ОТ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Медведев С.О., Мохирев А.П., Сергеева Е.А.

*Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Лесосибирский филиал, Лесосибирск, e-mail: sergeeva.e.a@mail.ru*

Лесозаготовительные предприятия в процессе своей деятельности зачастую осуществляют три ключевых взаимосвязанных технологических процесса: непосредственно лесозаготовка, перегрузочно-складские операции и транспортировка (вывозка) древесины. На каждый из них в значительной степени оказывают воздействие многие факторы. При этом на последний, помимо производственных и организационно-экономических, в значительной мере воздействуют природно-климатические условия. Природно-климатические условия в значительной мере оказывают воздействие на скорость движения лесовозов и на объемы вывозки древесины. Целью данного исследования является оценка данных зависимостей и составление соответствующих регрессионных моделей. Статья посвящена исследованию зависимостей вывозки древесины (деятельности лесозаготовителей) от природно-климатических условий. Для данных зависимостей получены математические модели. Моделирование проведено для различных лесозаготовительных периодов. Полученные результаты указывают на значительную дифференциацию факторов, влияющих на вывозку древесины в зависимости от периода лесозаготовительных работ. Объектом исследования выступили лесозаготовительные районы Красноярского края, являющегося одним из крупнейших регионов Сибири. Концентрация рабочих параметров вывозки древесины на нижний склад наблюдается при температурах в диапазоне от -8 до -31 °С. В ходе исследования установлены регрессионные зависимости влияния на вывозку древесины с лесной территории комплекса природно-климатических факторов. Также установлено, что очевидной зависимости между температурой воздуха и объемами вывозки не наблюдается. Вместе с тем присутствует общая тенденция к снижению объемов вывозимых грузов при падении температуры. Полученные модели и подход к оценке могут быть использованы и в других лесозаготовительных регионах страны.

**Ключевые слова:** моделирование, лесозаготовка, вывозка древесины, природно-климатические условия, регрессионные модели

## DEPENDENCE OF THE VOLUME OF WOOD REMOVAL FROM THE FOREST TERRITORY ON NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS

Medvedev S.O., Mokhirev A.P., Sergeeva E.A.

*Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Lesosibirsk, e-mail: sergeeva.e.a@mail.ru*

Logging companies in the course of their activities often carry out three key interrelated technological processes: directly logging, transshipment and storage operations and transportation (removal) of wood. Each of them is significantly influenced by many factors. At the same time, the latter, in addition to production and organizational and economic, is significantly affected by natural and climatic conditions. Natural and climatic conditions have a significant impact on the speed of movement of timber carriers and on the volume of wood removal. The purpose of this study is to evaluate these dependencies and compile appropriate regression models. The article is devoted to the study of the dependence of wood removal (logging activities) on natural and climatic conditions. Mathematical models are obtained for these dependencies. The simulation was performed for various logging periods. The obtained results indicate a significant differentiation of factors affecting the removal of wood depending on the period of logging operations. The object of the study was the logging areas of the Krasnoyarsk territory, which is one of the largest regions of Siberia. The concentration of working parameters of wood removal to the lower warehouse is observed at temperatures in the range from -8 to -31 °C. In the course of the study, regression dependences of the influence of natural and climatic factors on the removal of wood from the forest territory were established. It is also found that there is no obvious relationship between the air temperature and the volume of export. However, there is a General trend to reduce the volume of exported goods when the temperature drops. The obtained models and the approach to estimation can be used in other logging regions of the country.

**Keyword:** modeling, logging, timber carting out, climatic conditions, regression models

Лесозаготовительная отрасль является одной из важнейших в лесной промышленности страны. Древесные ресурсы, поступающие с лесозаготовок, в дальнейшем перерабатываются во многие ценные продукты. При этом от объема и качества поступающего первоначального сырья зависят различные дальнейшие процессы – от формирования цен на продукцию

до качества получаемых товаров и объема вторичных древесных ресурсов [1].

Лесозаготовительные предприятия в процессе своей деятельности зачастую осуществляют три ключевых взаимосвязанных технологических процесса: непосредственно лесозаготовка, перегрузочно-складские операции и транспортировка (вывозка) древесины. На каждый из них

в значительной степени оказывают воздействие многие факторы [2]. При этом на последний, помимо производственных и организационно-экономических, в значительной мере воздействуют природно-климатические условия [3]. Действительно, вывозка древесины из леса осуществляется по протяженным маршрутам (в Сибири до 200–300 км) с изменчивыми рельефами, почвами, дорожными покрытиями. Одним из наиболее важных факторов, влияющих на вывозку древесины, являются климатические условия [4]. Очевидно, что движение (скорость) автолесовозов в ясный холодный день зимой и дождливый день осенью будет серьезно варьироваться [5]. Таким образом, природно-климатические условия в значительной мере оказывают воздействие на скорость движения лесовозов и на объемы вывозки древесины. Целью данного исследования является оценка данных зависимостей и составление соответствующих регрессионных моделей.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования выступили автомобильные лесовозные дороги, находящиеся на территории различных лесозаготовительных районов Красноярского края (Богучанский, Енисейский, Мотыгинский). Территории различаются природно-климатическими условиями. В ходе исследования использованы данные о лесозаготовках и вывозке древесины с лесной территории на береговые нижние склады за 2017–2019 гг. В качестве природно-климатических факторов анализировались сведения за аналогичные периоды времени, находящиеся в архивных сведениях о погоде на электронном ресурсе [gr5.ru](http://gr5.ru) по соответствующим метеорологическим постам (Богучанский, Назимовский, Енисейский, Мотыгинский).

Вследствие неоднородности природно-климатических и производственных условий в различные временные интервалы, а также возможности их классификации по наиболее близким характеристикам, весь лесозаготовительный (в том числе учитывающий вывозку древесины с лесной территории) процесс разделен на пять периодов [6]: зимний (11 ноября – 20 марта); зимне-весенний (21 марта – 20 апреля); весенний (21 апреля – 30 июня); летний (1 июля – 31 августа); осенний (1 сентября – 10 ноября). Основной метод математической обработки данных – корреляционно-регрессионный анализ, осуществляемый

с применением статистического продукта Statistica 10.0 [7, 8]. Полученные ранее авторами результаты о значительной зависимости вывозки древесины с лесной территории в каждом из данных районов от природно-климатических факторов [3] выявили потребность проведения исследований и составления моделей, отражающих зависимости для всего региона.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Одним из тезисов, регулярно заявляемых сообществом лесопромышленников и лесозаготовителей, является зависимость объема вывозки древесины от температуры воздуха. При этом основной акцент делается на зимнем периоде времени [9, 10].

В ходе исследования установлено, что очевидной зависимости между температурой воздуха и объемами вывозки не наблюдается. Разброс данных по вывозке на нижний склад слишком велик, чтобы сформировать как модель, так и отдельные зависимости. Вместе с тем на рис. 1 видно, что присутствует общая тенденция к снижению объемов вывозимых грузов при падении температуры.

Концентрация рабочих параметров вывозки древесины на нижний склад наблюдается при температурах в диапазоне от  $-8$  до  $-31^{\circ}\text{C}$  (рис. 2). При этом наиболее часто встречаемые объемы суточной вывозки составляют  $100\text{--}800\text{ м}^3/\text{сут}$ . Следует отметить, что представленные на рис. 1 и 2 иллюстрации характеризуют вывозку в исследуемых лесозаготовительных районах с использованием идентичного числа лесовозной техники.

В ходе оценки влияния комплекса природно-климатических факторов на вывозку древесины на нижний склад было определено, что регрессионных моделей с высоким коэффициентом ( $R > 0,8$ ) детерминации не существует. Данный факт обусловлен наличием множества производственных параметров, определяющих выработку и влияющих на количество перевозимых грузов в определенные временные интервалы. К данным факторам могут относиться состояние оборудования, наличие свободных площадей (складов), возможность оплаты трудозатрат персонала и арендуемой техники и т.д. Вместе с тем приемлемые модели (при  $0,5 < R^2 < 0,7$ ) зависимости объема вывозки древесины на нижний склад от комплекса природно-климатических факторов могут быть получены.

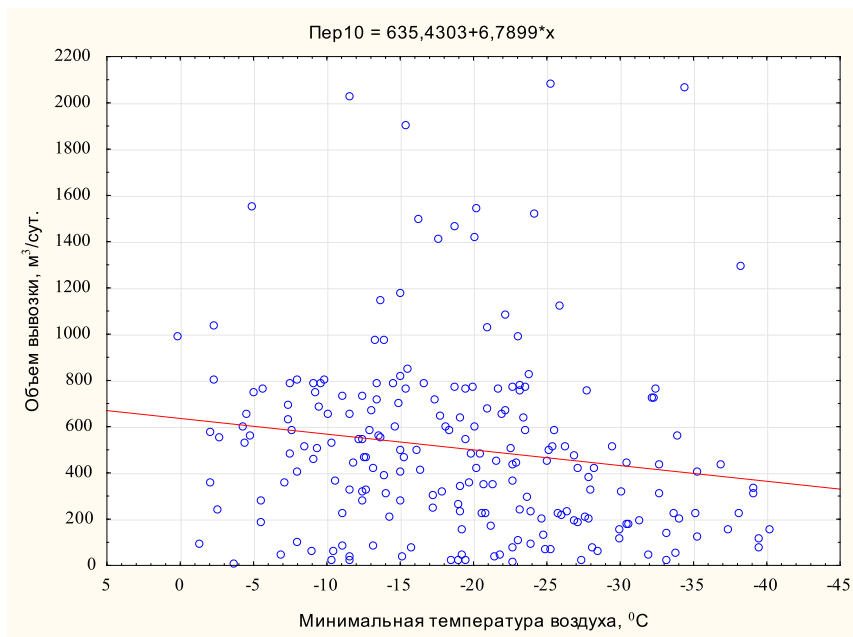


Рис. 1. Зависимость объема вывозки древесины на нижний склад от минимальной суточной температуры воздуха

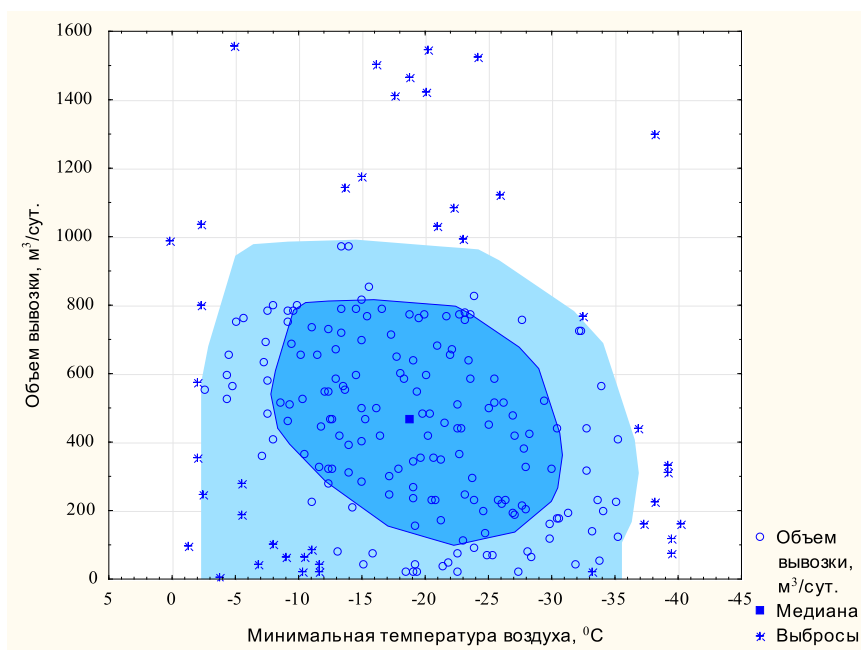


Рис. 2. Диаграмма концентрации объема вывозки древесины на нижний склад в зависимости от минимальной суточной температуры воздуха

Так, для зимнего периода наиболее выражена зависимость от факторов 2 и 7 (рис. 3, а). Наглядно видно, что в зимний период объемы вывозки тем выше, чем больше дальность видимости и меньше скорость ветра. Очевидно, что

в сложных погодных условиях (плохая видимость и сильный ветер) водители автолесовозов вынуждены снижать скорость, а объемы вывозки при неизменном количестве лесовозов неуклонно и объективно снижаются.

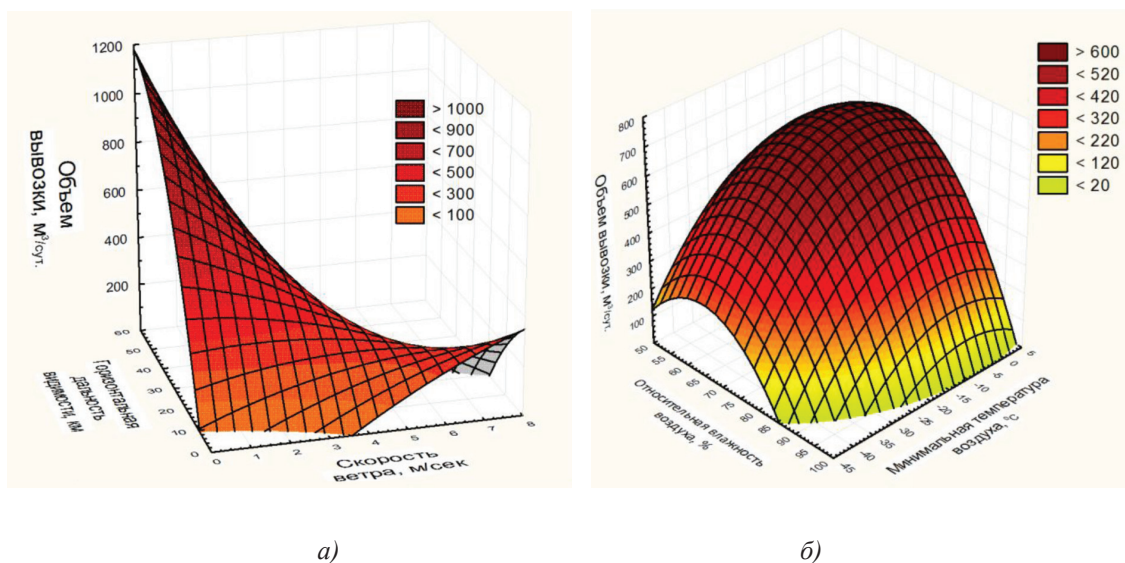


Рис. 3. Зависимость объема вывозки древесины на нижний склад:  
 а – горизонтальной дальности видимости и скорости ветра в зимний период;  
 б – от относительной влажности воздуха и минимальной температуры воздуха в зимний период

Еще двумя значимыми факторами, влияющими на вывозку древесины на нижний склад, как показал анализ, являются относительная влажность и минимальная температура воздуха (рис. 3, б). Показанная выше (рис. 1) зависимость вывозки от температуры дополняется в данном случае влиянием влажности воздуха. Очевидно, что при слишком высокой влажности воздуха (и низкой температуре) работа техники существенно осложняется – происходит обледенение (как техники, так и дорожного полотна), что приводит к снижению производительности вывозки.

Вследствие невозможности представления в графическом виде зависимостей вывозки от нескольких параметров, в ходе исследования были получены лишь регрессионные зависимости по каждому из исследуемых периодов вывозки. В качестве основы использовалась модель вида

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i v_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} v_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n b_{ij} v_i v_j, \quad (1)$$

где  $Y$  – зависимая переменная (объем перевозимой одной машиной древесины на плечо вывозки в сутки, м<sup>3</sup>·км / маш·сут);  $b_i$  – коэффициент при  $i$ -й независимой переменной;  $b_{ii}$  – коэффициент при  $i$ -й независимой переменной в квадрате;  $b_{ij}$  – коэффициент при всех возможных попарных произведениях независимых переменных (при  $i \neq j$ );

$n$  – количество независимых переменных;  $v_i$  –  $i$ -я независимая переменная

В случае четырех независимых переменных (выявленных в ходе исследования) общая модель имеет вид

$$Y = b_0 + b_1 v_1 + b_2 v_2 + b_3 v_3 + b_4 v_4 + b_{11} v_1^2 + b_{22} v_2^2 + b_{33} v_3^2 + b_{44} v_4^2 + b_{12} v_1 v_2 + b_{13} v_1 v_3 + b_{14} v_1 v_4 + b_{23} v_2 v_3 + b_{24} v_2 v_4 + b_{34} v_3 v_4. \quad (2)$$

В ходе исследования рассматривалось влияние следующих природно-климатических факторов на объемы удельной вывозки древесины единицей техники по маршруту до нижнего склада в условиях Красноярского края:  $W$  – относительная влажность воздуха, %,  $S$  – скорость ветра, м/с,  $O$  – тип осадков. В исследовании установили, что для получения численных значений данного фактора будут использоваться следующие характеристики типа осадков: дождь непрерывный – 1,5; снег непрерывный – 1,5; дымка – 0,5; ливневый снег – 2; ливневый дождь – 2; туман – 1;  $P$  – продолжительность осадков. Для наличия численных значений установлено, что продолжительность осадков принимается: ливень – 2; дождь – 1; снег или дождь со снегом – 1,5; туман – 0,5.  $T_{\text{мин}}$  – минимальная температура воздуха за сутки, °С.  $T_{\text{макс}}$  – максимальная температура воздуха за сутки, °С.  $V$  – горизонтальная дальность видимости, км.  $R$  – количество выпавших



осадков, мм. S – высота снежного покрова, см (при наличии). В ходе исследования получены следующие модели зависимостей по лесозаготовительным периодам:

Осенний:

$$Y = 2006,06 + 100,66*S + 1829,70*S^2 - 625,09*O + 4119,51*O^2 - 5629,76*S*O + 1049,78*Т_{\max} + 16,63*Т_{\max}^2 - 276,38*S*Т_{\max} - 444,75*O*Т_{\max} + 3250,13*P + 1248,67*P^2 - 5768,98*P*S + 2616,28*O*P - 78,06*Т_{\max}*P.$$

Летний:

$$Y = 98705,3 - 1868,5*Т_{\max} - 814,4*V - 5,8*Т_{\max}^2 - 13,2*V^2 - 31,1*Т_{\max}*V - 40565,4*S + 3909,6*S^2 + 215,8*S*Т_{\max} + 151,5*S*V - 74,3*W - 4,7*W^2 + 124,7*W*S + 6,1*W*Т_{\max} + 9,5*W*V.$$

Весенний

$$Y = -7315,4 - 11845,1*S + 1364,3*V + 1658,9*S^2 - 9,7*V^2 + 12,9*S*V + 1242,7*Т_{\max} - 0,6*Т_{\max}^2 - 116,6*S*Т_{\max} - 25,9*V*Т_{\max} + 18596,0*P - 11622,9*P^2 + 1470,5*S*P - 33,1*V*P + 20,0*Т_{\max}*P.$$

Зимне-весенний:

$$Y = 21864,51 + 407,04*Т_{\min} + 95,15*V - 14,51*Т_{\min}^2 + 2,38*V^2 + 8,39*Т_{\min}*V + 514,38*S + 698,82*S^2 - 80,82*S*Т_{\min} - 76,08*S*V - 521,17*W + 4,56*W^2 - 68,75*W*S - 8,18*W*Т_{\min} + 2,27*W*V.$$

Зимний:

$$Y = 4304,29 - 435,75*Т_{\min} + 503,55*V - 0,25*Т_{\min}^2 - 3,50*V^2 - 1,42*Т_{\min}*V - 5551,48*S + 59,71*S^2 - 30,80*S*Т_{\min} - 124,39*S*V + 78,49*W - 2,40*W^2 + 93,79*W*S + 5,29*W*Т_{\min} + 1,37*W*V.$$

Полученные регрессионные модели отражают влияние на кубокилометр вывозимой древесины на нижний склад единиц техники в сутки в лесозаготовительных районах Красноярского края.

В рамках оценки влияния на вывозку древесины различных климатических условий невозможно обойти вниманием помимо рассмотренных в данном исследовании

и иные факторы: производственные, инфраструктурные, природные (рельеф, почвы и т.д.). В рамках выстраиваемых моделей и регрессионных зависимостей, по авторскому мнению, возможно решение задачи двумя способами: 1. Включение в перечень анализируемых факторов дополнительных параметров и проведение регрессионного анализа с учетом их влияния [5]. 2. Включение дополнительных параметров в качестве коэффициентов (поправочных) в полученные ранее модели в различных вариантах. Очевидно, что первый вариант предпочтительнее, так как позволяет исключать менее значимые факторы на этапе предварительной оценки. Вместе с тем включение дополнительных параметров в полученные модели является сложной дискуссионной задачей.

### Заключение

В ходе исследования установлены регрессионные зависимости влияния на вывозку древесины с лесной территории комплекса природно-климатических факторов. Полученные модели и подход к оценке могут быть использованы и в других лесозаготовительных регионах страны. Основная цель подобных исследований – выявление закономерностей изменения объемов транспортируемой древесины под воздействием природно-климатических факторов. Данные сведения важны как с теоретической, так и с практической точки зрения – для планирования деятельности различными предприятиями, вовлеченными в лесозаготовительный процесс.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Краевого фонда науки и ООО «Красресурс 24» в рамках научного проекта № 20-410-242901 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «Исследование и моделирование процессов развития экономики лесной промышленности региона в контексте природно-климатических условий и ресурсного потенциала», № 18-410-240003.*

### Список литературы / References

1. Кабанов М.В., Лыкосов В.Н. Мониторинг и моделирование природно-климатических изменений в Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 9. С. 753–764.
- Kabanov M.V., Lykosov V.N. Monitoring and modeling of natural and climate changes in Siberia // Optika atmosfery i okeana. 2006. V. 19. № 9. P. 753–764 (in Russian).

2. Демаков Д.В. Анализ исследований в области моделирования технологических процессов лесозаготовок // *Перспективы науки*. 2012. № 9 (36). С. 98–100.
- Demakov D.V. Analysis of research in the sphere of modeling of technological processes of forest harvesting // *Perspektivy nauki*. 2012. № 9 (36). P. 98–100 (in Russian).
3. Мохирев А.П., Медведев С.О., Смолина О.Н. Факторы, влияющие на пропускную способность лесовозных дорог // *Лесотехнический журнал*. 2019. Т. 9. № 3 (35). С. 103–113. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/10.
- Mokhirev A.P., Medvedev S.O., Smolina O.N. Factors affecting the capacity of logging roads // *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2019. V. 9. № 3 (35). P. 103–113 (in Russian).
4. Мохирев А.П., Горяева Е.В., Мохирев М.П., Ившина А.В. Планирование сроков эксплуатации зимних лесовозных дорог на основе анализа статистики климатических данных // *Лесотехнический журнал*. 2018. Т. 8. № 2. С. 176–185. DOI: 10.12737/article\_5b2406175e7765.44768086.
- Mokhirev A.P., Goryaeva E.V., Mokhirev M.P., Ivshina A.V. Planning of operation periods of winter logging roads based on the analysis of climate data statistics // *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2018. V. 8. № 2. P. 176–185 (in Russian).
5. Мазуркин П.М. Прогнозирование совместного развития сельского и лесного хозяйства // *Научное обозрение*. 2017. № 5. С. 57–71.
- Mazurkin P.M. Forecasting joint development of agriculture and forestry // *Nauchnoye obozreniye*. 2017. № 5. P. 57–71 (in Russian).
6. Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Medvedev S.O., Mammadov 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. V. 16. № 3. P. 313–319. DOI: 10.5937/jaes16-16908.
7. Mazurkin P.M. Method of identification. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 14*. 2014. P. 427–434.
8. Морозов Е.В., Шегельман И.Р. О применении вероятностного моделирования для анализа некоторых технологических процессов лесозаготовок // *Глобальный научный потенциал*. 2011. № 9. С. 67–71.
- Morozov E.V., Shegelman I.R. On the application of probabilistic modeling for the analysis of some technological forest harvesting processes // *Global'nyy nauchnyy potentsial*. 2011. № 9. P. 67–71 (in Russian).
9. Мельник М.А., Волкова Е.С. Сезонная дифференциация опасных и неблагоприятных природных явлений для сферы лесопользования Томской области // *Вестник СГУГиТ*. 2019. Т. 24. № 2. С. 229–237. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-229-237.
- Mel'nik M.A., Volkova E.S. Seasonal differentiation of dangerous and adverse natural phenomena for the sphere of forest management in the Tomsk region // *Vestnik SGUGiT*. 2019. V. 24. № 2. P. 229–237 (in Russian).
10. Шегельман И.Р., Щеголева Л.В., Лукашевич В.М. Обоснование периода эксплуатации зимних лесовозных дорог // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2007. № 2. С. 54–57.
- Shegelman I.R., Shchegoleva L.V., Lukashevich V.M. Justification of the period of operation of winter logging roads // *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*. 2007. № 2. P. 54–57 (in Russian).