

УДК 630\*31

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА НАЧАЛО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

**Мохирев А.П., Зырянов М.А., Медведев С.О., Брагина Н.А.**

*Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева – филиал,  
Лесосибирск, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru*

Лесовозные автодороги могут быть круглогодичного или временного пользования. На данных дорогах основными транспортными средствами являются лесовозные автопоезда. Лесовозные дороги предназначены для эффективной вывозки по ним запланированного объема заготовленной древесины. В большинстве исследований по эффективному освоению лесных ресурсов и транспортировке их до потребителя выделяется ряд ключевых проблем. Основные из них: проблема повышения транспортной доступности лесных ресурсов; необходимость учета и нейтрализация негативного воздействия факторов, оказывающих влияние на вывозку заготовленной древесины; минимизация расходов на всей цепи поставок. На все эти проблемы влияют природно-климатические факторы. Анализ практического опыта лесозаготовительных предприятий показал, что большое влияние на начало эксплуатации летних дорог оказывает количество влаги в грунтах. Выявлено, что в начале сезона эксплуатации летних лесовозных дорог на количество влаги в грунтах влияют не только факторы водно-теплового режима (осадки и количество осадков), но и влага талых вод. Задержка талых вод в грунтах зависит от промерзания почв в осенне-зимний период, в результате чего наибольшее промерзание почв происходит при избыточном количестве воды в почве. В силу того что количество осадков перед постоянно выпавшим снегом в осенний период имеет воздействие на процесс задержки талых вод в грунтах и оказывает значительное влияние на начало вывозки древесины в летний период, исследование в данной области являются актуальными. Итогом работы стали анализ влияния осадков в весенний период, положительной температуры воздуха и количества воды в почве в осенний период на начало вывозки леса по дорогам летнего действия и составление соответствующей регрессионной модели. Объектом настоящих исследований выступили данные о датах начала вывозки леса в летний период с лесозаготовительных территорий предприятий Красноярского края.

**Ключевые слова:** лесовозная дорога, переувлажнение грунта, вывозка, моделирование, лесозаготовка, осадки

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CLIMATE CONDITIONS ON THE START OF OPERATION OF SUMMER LOGGING ROADS

**Mokhirev A.P., Zyryanov M.A., Medvedev S.O., Bragina N.A.**

*Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Lesosibirsk, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru*

Logging roads can be used year-round or temporarily. On these roads, the main means of transport are logging road trains. Logging roads are designed for efficient transportation of the planned volume of harvested wood. Most studies on the effective development of forest resources and their transportation to consumers highlight a number of key problems. The main ones are: the problem of increasing transport accessibility of forest resources; the need to take into account and neutralize the negative impact of factors that affect the export of harvested wood; minimize costs throughout the supply chain. All these problems are influenced by natural and climatic factors. Analysis of the practical experience of logging companies has shown that the amount of moisture in the soil has a great influence on the start of operation of summer roads. It is revealed that at the beginning of the season of operation of summer logging roads, the amount of moisture in the soil is influenced not only by factors of water-thermal regime (precipitation and precipitation), but also by the moisture of meltwater. Delay of melt water in soils depends on the freezing of soils in autumn and winter, as a result, most soil freezing occurs when excess water in the soil. Due to the fact that the amount of precipitation before the constantly falling snow in the autumn period has an impact on the process of retention of meltwater in the ground and has a significant impact on the beginning of wood removal in the summer, research in this area is relevant. As a result, the aim of the work was to analyze the influence of precipitation in the spring, positive air temperature and the amount of water in the soil in the autumn at the beginning of forest haulage and drawing up an appropriate regression model. The object of this research was the data on the dates of the start of timber haulage in the summer period from the logging areas of enterprises of the Krasnoyarsk Territory.

**Keywords:** logging road, water logging, hauling, modeling, logging, precipitation

Транспортировка древесины – это важный этап лесозаготовительного процесса. Из-за отсутствия лесовозных дорог круглогодичного действия вывозка древесины с лесосек происходит по дорогам сезонного характера. По зимним лесовозным дорогам вывозится значительная часть всего объема. В летнее же время из-за воз-

действия неблагоприятных климатических условий вывозка затруднительна. Период эксплуатации зимних лесовозных дорог и их пропускную способность в различных природно-климатических условиях изучали многие ученые [1, 2]. Начало эксплуатации летних лесовозных дорог спрогнозировать сложнее, и исследования, по-

святины данному вопросу, практически не встречаются.

Вывозка древесины в летний период производится с июля по сентябрь. Данный период характеризуют следующие факторы [3, 4]: устойчивая жаркая погода; высыхание дорог; снижение уровня грунтовых вод; улучшение несущей способности грунтов.

Эксплуатация лесовозных дорог в беснежный период сопряжена с негативными природными воздействиями, поэтому вывозка сильно затруднена [5, 6]. Пропускная способность лесовозных дорог определяется объемом осадков. Дороги во время выпадения больших объемов осадков непригодны для перевозки грузов. Весеннее таяние снега приводит к поднятию грунтовых вод, затоплению больших лесных территорий, особенно в низменных участках, разрушению временных сооружений и т.д. [7, 8].

Кроме этого, большое влияние на начало эксплуатации летних дорог оказывает количество влаги в грунтах. В начале сезона эксплуатации летних лесовозных дорог на количество влаги в грунтах влияют не только факторы водно-теплового режима (осадки и количество осадков), но и талые воды. Задержка талых вод в грунтах зависит от промерзания почв в осенне-зимний период. Наибольшее промерзание почв происходит при большом количестве воды в почве. В результате количество осадков перед постоянно выпавшим снегом в осенний период оказывает влияние на задержку талых вод в грунтах. Таким образом, на начало вывозки леса влияют количество осадков в весенний период, положительная температура воздуха, которая способствует высыханию дорог, и количество воды в почве в осенний период [9, 2].

Цели исследования: анализ влияния осадков в весенний период, положительной температуры воздуха и количества воды в почве в предыдущий осенний период на начало вывозки леса по дорогам летнего действия и составление соответствующей регрессионной модели.

#### Материалы и методы исследования

В рамках настоящего исследования проведен анализ влияния природно-климатических факторов на начало вывозки леса в летний период в Енисейском районе Красноярского края Российской Федерации. Объектом исследования выступили данные о датах начала вывозки леса в лет-

ний период из территорий различных лесозаготовительных районов (Орджоникидзе, Высокогорска, Кулаково, Первомайска, Назимово). Территории различаются природно-климатическими условиями. В качестве природно-климатических факторов анализировались статистические данные за 2014–2019 гг., сведения о погоде по соответствующим метеорологическим постам. Архивные сведения погоды брались с электронного ресурса [gr5.ru](http://gr5.ru).

Исследовалось влияние осадков и температуры на начало вывозки леса в летний период:

- среднее суточное количество осадков с момента последнего снежного покрова до начала вывозки ( $x_1$ );

- количество положительных температур с момента последнего снежного покрова до начала вывозки ( $x_2$ );

- количество осадков за три недели до постоянно выпавшего снега в предыдущем году ( $x_3$ ).

Начало вывозки леса (на какой день летнего периода осуществлялась вывозка) будет являться результативным признаком, принимаемым за  $y$ . В табл. 1 показано, какие показатели имеют результативный признак  $y$ , и переменные  $x_1, x_2, x_3$ .

Проведение многофакторного анализа осуществляли в среде Microsoft Office Excel.

В ходе работы проведено исследование по определению коэффициентов множественной регрессии, состоящей из нескольких переменных (независимых), являющихся компонентами следующего уравнения:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (1)$$

где  $y$  – зависимая переменная (итоговый результирующий результат или применительно к решаемой задаче – признак);  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – независимые природно-климатические факторы (переменные для данной задачи).

Данный тип регрессионных зависимостей применяется в тех случаях, когда разнообразие воздействующих на результат факторов не позволяет выделить наиболее весомый и существует потребность в оценке влияния всех или нескольких из них [10].

Главная цель исследования – получение модели с рядом факторов, влияние которых на итоговый показатель также должно быть подвергнуто оценке.

На рис. 1 приведены статистические показатели результативного признака  $y$  и переменных  $x_1, x_2, x_3$ . Видно значительное взаимное изменение  $y$  и независимых переменных.

Таблица 1

Данные о погодных условиях и начала вывозки древесины

Район	Дата начала вывозки леса	Значение $y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Орджоникидзе	23.06.2014 г.	23	1,56	45	7,5
	07.06.2015 г.	7	1,29	33	11
	18.06.2016 г.	18	1,56	38	13,8
	29.06.2017 г.	29	1,78	51	9,6
	18.06.2018 г.	18	1,63	39	5
	08.06.2019 г.	8	0,63	29	10,5
Высокогорск	16.06.2014 г.	16	1,57	71	27,5
	30.06.2015 г.	30	1,29	73	31,4
	21.06.2016 г.	21	1,61	69	41,4
	29.06.2017 г.	29	1,3	69	7,4
	14.06.2018 г.	14	1,92	54	20,5
	28.06.2019 г.	28	2	67	17,1
Кулаково	13.07.2014 г.	43	2,5	98	27,5
	20.07.2015 г.	50	2,69	93	31,4
	16.07.2016 г.	46	2,27	94	41,4
	21.07.2017 г.	51	2,12	94	7,4
	19.07.2018 г.	49	2,8	91	20,5
	21.07.2019 г.	51	2,85	91	17,1
Первомайск	23.06.2014 г.	23	1,53	45	7,5
	16.06.2015 г.	16	1,2	42	11
	26.06.2016 г.	26	1,38	46	13,8
	21.06.2017 г.	21	1,13	43	9,6
	19.06.2018 г.	19	1	40	5
	23.06.2019 г.	23	0,77	44	10,5
Назимово	11.06.2014 г.	11	1,54	48	32,6
	14.06.2015 г.	14	1,44	39	51,5
	10.06.2016 г.	10	1,44	44	43,6
	13.06.2017 г.	13	0,68	48	7,3
	12.06.2018 г.	12	1,31	43	29,1
	15.06.2019 г.	15	1,5	39	12,5

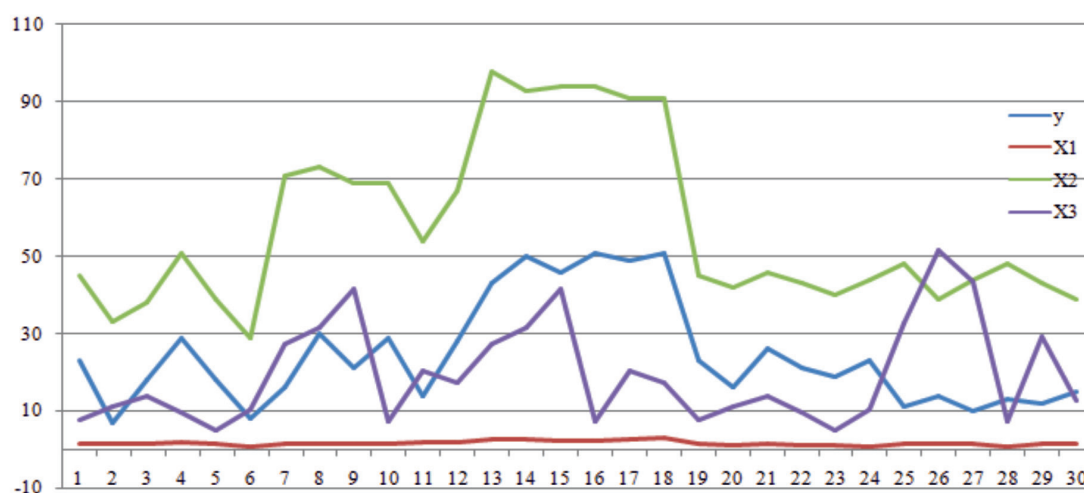


Рис. 1. Статистические данные природно-климатических условий и начала вывозки леса в летний период

### Результаты исследования и их обсуждение

1. Проверка факторов на мультиколлинеарность. Выделяются следующие этапы:

– подбор факторов под сущность проблемы (исходя из опыта исследователей);

– использование формальных статистических критериев для оценки факторов. Так, для оценки корреляции необходимо определение линейного коэффициента корреляции  $r_{x_i x_j}$ . В случае, если  $r_{x_i x_j} \geq 0,8$ , то о переменных  $x_i, x_j$  говорят, что они находятся в линейной зависимости между собой. Тогда из этого следует, что переменные  $x_i, x_j$  будут являться коллинеарными.

В полученное регрессионное уравнение будет включен лишь тот коллинеарный фактор, который, обладая большой теснотой связи с результатом, будет в наименьшей степени связан с иными факторами.

В ходе работы была сформирована корреляционная матрица. Ее наполнение осу-

ществлялось на базе функции «Данные. Анализ данных. Корреляция» известного программного продукта MS Excel.

Из расчетов, представленных на рис. 2, следует, что  $r_{x_1 x_2} = 0,79$ ,  $r_{x_1 x_3} = 0,27$ ,  $r_{x_2 x_3} = 0,29$ . Таким образом, коллинеарность между исследуемыми факторами не наблюдается. Из рассмотрения факторы не исключаются, а регрессия будет строиться по всем трем факторам.

2. Получение уравнения линейной множественной регрессии.

Результаты приведены в табл. 2, 3, 4, при этом пропущены промежуточные этапы расчетов.

Таким образом, результаты, представленные в табл. 4, позволяют сформировать уравнение регрессии:

$$y = -7,93 + 6,1 \cdot x_1 + 0,48 \cdot x_2 - 0,26 \cdot x_3. \quad (2)$$

3. Расчет коэффициентов множественной корреляции R и детерминации R<sup>2</sup>.

	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Y	1			
X <sub>1</sub>	0,794346	1		
X <sub>2</sub>	0,890944	0,798247	1	
X <sub>3</sub>	0,04723	0,278973	0,29547	1

Рис. 2. Расчеты в корреляционной матрице

Таблица 2

#### Результаты корреляционного анализа

Параметр	Значение	Наименование
Множественный R	0,932237149	Множественный коэффициент корреляции R Коэффициент детерминации R <sup>2</sup> Модифицированный коэффициент детерминации R Стандартная ошибка определения R Число наблюдений
R-квадрат	0,869066103	
Нормированный R-квадрат	0,853958346	
Стандартная ошибка	5,217422059	
Наблюдения	30	

Таблица 3

#### Результаты дисперсионного анализа

Пояснения	Число степеней свободы df	Сумма квадратов отклонений SS	Дисперсия на 1 степень свободы MS	Статистика Фишера F	Уровень значимости F
Регрессия	3	4697,70785	1565,902617	57,52449434	1,30366E-11
Остаток	26	707,7588165	27,22149294		
Итого	29	5405,466667			

Таблица 4

Результаты регрессионного анализа

Пояснения	Коэффициенты уравнения регрессии	Стандартная ошибка определения коэффициентов	t-статистика	Вероятность ошибки	Нижние 95% – пределы	Верхние 95% – пределы
y	-7,92775651	3,010580617	-2,633298197	0,014047901	-14,1160936	-1,739419424
$x_1$	6,102930031	2,786405952	2,190251577	0,03766983	0,375390568	11,83046949
$x_2$	0,481081375	0,07538149	6,38195634	9,25953E-07	0,326132504	0,636030246
$x_3$	-0,258312305	0,077305558	-3,341445464	0,002531563	-0,417216155	-0,099408455

Первый из них характеризует тесноту связи исследуемой подборки факторов с анализируемым признаком (результатом). Он определяется по формуле:

$$R = R_{y, x_1, x_2, \dots, x_m} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3)$$

где  $n$  – количество экспериментов (наблюдений);  $x_i$ ,  $y_i$  – значения переменных;  $\bar{y}$ ,  $\bar{x}$  – их средние значения;  $\hat{y}_i$  – расчетные значения переменной  $y$ , вычисленные по уравнению множественной регрессии, т.е.  $\hat{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ .

Величина коэффициента детерминации применяется при характеристике качества получаемой регрессионной модели. Более высокое значение соответствует лучшей согласованности модели с данными эксперимента или наблюдений.

Значения  $R$  и  $R^2$  также можно найти в табл. 2.  $R = 0,93$ ;  $R^2 = 0,87$ .

Коэффициент множественной корреляции изменяется от 0 до 1. Чем ближе его значение к 1, тем теснее связь результативного признака со всем набором исследуемых факторов.

По шкале Чеддока можно определить, что при  $R = 0,93$  связь весьма высокая и  $R^2 = 0,87$  – высокая.

4. Проверка значимости регрессионного уравнения.

На данном этапе необходимо рассчитать фактическое значение F-критерия  $F_{\text{факт}}$  (F Фишера) и сравнить его с критическим (табличным) значением F-критерия  $F_{\text{табл}}$ . Если выполняется условие  $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$ , то уравнение считается статистически значимым.

Вычислим фактическое значение критерия по формуле:

$$F_{\text{факт}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}, \quad (4)$$

где  $R^2$  – коэффициент детерминации;  $n$  – число наблюдений;  $m$  – количество факторов.

$$F_{\text{факт}} = \frac{0,87}{1 - 0,87} \cdot \frac{30 - 3 - 1}{3} = 57,52. \quad (5)$$

Это же значение можно было взять из табл. 3 «Статистика Фишера F».

$F_{\text{табл}}$  – это табличное значение F-критерия Фишера, соответствующее уровню значимости  $\alpha$  и числу степеней свободы  $k_1 = m$ ,  $k_2 = n - m - 1$ .

Расчеты в авторском исследовании показали: уровень значимости  $\alpha = 0,05$ ; а число степеней свободы  $k_1 = 3$ ,  $k_2 = 30 - 3 - 1 = 26$ ;

$$- F_{\text{табл}} = \text{FRASPOBR}(0,05; 3; 26) = 2,98.$$

При полученных  $F_{\text{факт}} = 57,52 > F_{\text{табл}} = 2,98$ , можно говорить о высокой значимости регрессионного уравнения, полученного в ходе исследования.

Результаты табл. 3 указывают, что значимость уравнения регрессии  $\alpha = 1,3 \cdot 10^{-11}$ . Очевидно, что оно существенно ниже требуемого уровня  $\alpha = 0,05$ , т.е. уравнение значимо и при более низком уровне значимости.

5. Проведение проверки значимости коэффициентов регрессионного уравнения.

Для данного этапа исследования необходимо применение t-критерия Стьюдента. Из табл. 4 следует, что уровни значимости коэффициентов уравнения регрессии имеют значения:  $\alpha_a = 0,014$ ;  $\alpha_{b_1} = 0,038$ ;  $\alpha_{b_2} = 9,26 \cdot 10^{-7}$ ;  $\alpha_{b_3} = 0,002$ .

Следовательно, оценки параметров  $\alpha_a$ ;  $\alpha_{b_1}$ ;  $\alpha_{b_2}$ ;  $\alpha_{b_3}$  значимы при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

В результате исследования определено, что дата начала вывозки леса зависит от среднего суточного количества осадков с момента последнего снежного покрова до начала вывозки. Из рис. 3 видно, что начало вывозки леса прямо пропорционально значению среднесуточного количества осадков. С увеличением количества осадков начало вывозки леса откладывается на более поздний срок. На рис. 4 представлена



зависимость начала вывозки леса от количества положительных температур.

Зависимость, представленная на рис. 4, указывает на то, что с увеличением количества положительных температур начало вывозки леса откладывается на более поздний срок.

На рис. 5 представлена графическая зависимость начала вывозки леса в текущем году от количества осадков за три недели до постоянно выпавшего снега в предыдущем году.

Результаты, показанные на рис. 5, демонстрируют, что вывозка круглого леса в основном начинается при количестве

осадков за три недели до постоянно выпавшего снега в предыдущем году от 8 до 37 мм.

### Заключение

В ходе исследования установлена регрессионная зависимость влияния природно-климатических факторов на начало вывозки древесины с лесной территории. Выявлена закономерность изменения даты начала вывозки древесины в зависимости от природно-климатических факторов. Несмотря на то что исследования были реализованы на лесозаготовительных районах Красноярского края, полученная модель может быть использована и в других регионах страны.

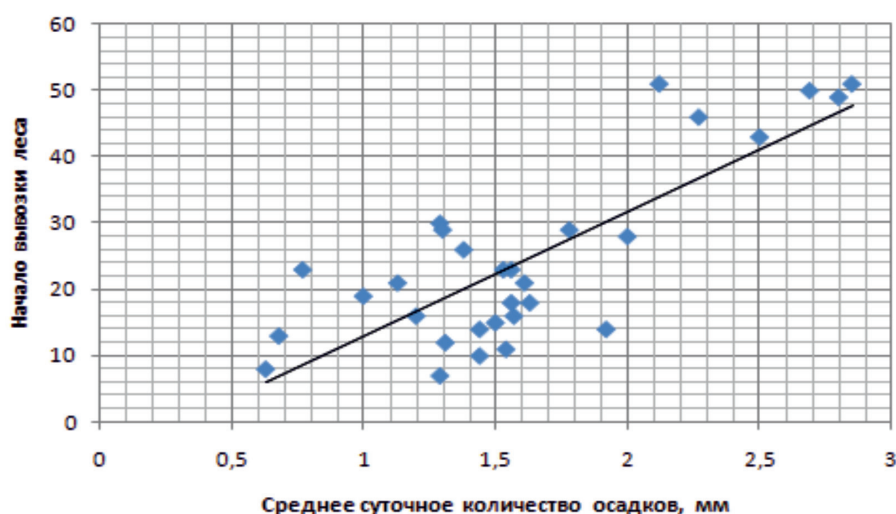


Рис. 3. Зависимость начала вывозки леса от среднего суточного количества осадков с момента последнего снежного покрова до начала вывозки

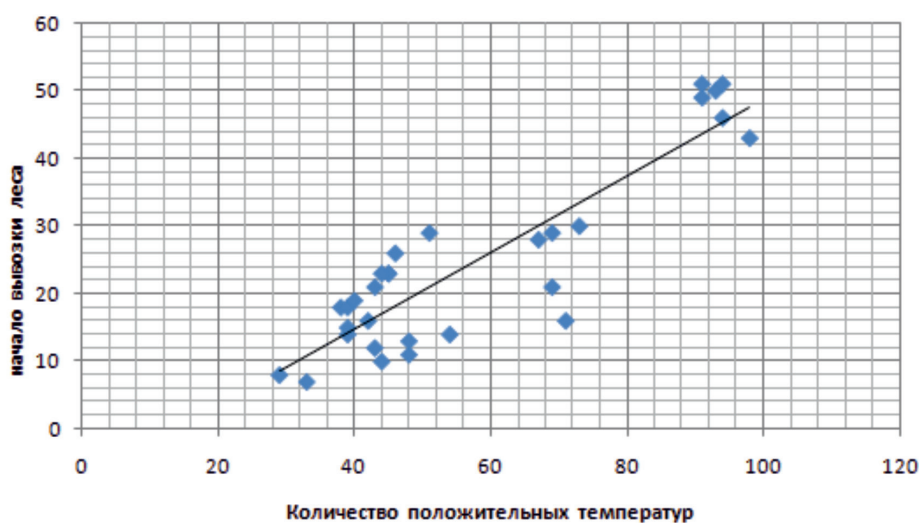


Рис. 4. Зависимость начала вывозки леса от количества положительных температур с момента последнего снежного покрова до начала вывозки

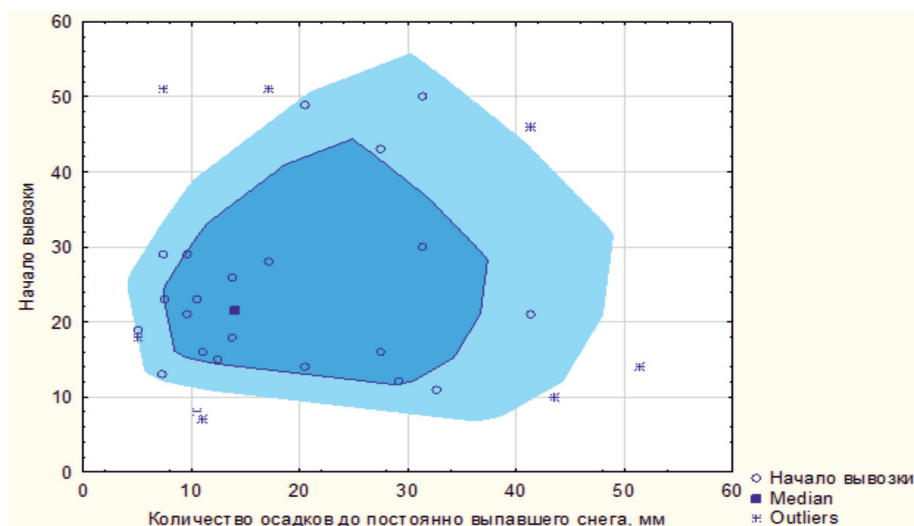


Рис. 5. Зависимость начала вывозки леса в текущем году от количества осадков за три недели до постоянно выпавшего снега в предыдущем году

Полученные результаты важны как с теоретической точки зрения, так и с практической – для планирования деятельности различных предприятий, вовлеченных 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 в рамках проекта «Разработка фундаментальных основ проектирования лесной инфраструктуры как динамически изменяемой системы в условиях деятельности лесозаготовительного производства», № 19-410-240005, поддержанного за счет средств целевого финансирования, предоставленного РФФИ, Правительством Красноярского края и Краевым фондом науки.

#### Список литературы / References

1. 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. № 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. № 2. P. 176–185 (in Russian).

2. 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. Substantiation of forest roads operating period // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2007. № 2. P. 54–57 (in Russian).

3. 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).

4. 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).

5. 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).

6. 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).

7. Mokhirev A., Ryabova T., Pozdnyakova M. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources. Journal of Applied Engineering Science. 2018. № 16. (4). P. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842.

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. Mazurkin P.M. Method of identification. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 14. 2014. P. 427–434.