

УДК 630*31:338.2

**РЕЙТИНГ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО МНОГОФАКТОРНОМУ АНАЛИЗУ
ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ С ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ****¹Мохирев А.П., ²Рукомойников К.П., ²Мазуркин П.М.**¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий

имени академика М.Ф. Решетнева», Лесосибирск, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола

Скорость автолесовозов при вывозке древесины с лесосеки – это один из значимых показателей, влияющих на деятельность лесозаготовительного предприятия. При вывозке древесины возникает множество факторов природного и производственного характера. Анализ факторов – это важный этап совершенствования производственного процесса. Для формирования мероприятий, направленных на улучшение производственных показателей, следует определить значимость факторов. В исследовании были использованы измеренные данные о скорости движения автолесовозов при вывозке древесины с лесной территории на береговые нижние склады во время лесозаготовительного сезона 2019–2020 гг. по территории Мотыгинского и Енисейского лесничеств Красноярского края. Качество собранного материала можно оценить добротностью измерений. Это значительно влияет на результаты проведения эксперимента. В работе представлен начальный этап факторного анализа по ранговому распределению 162 экспериментов по 35 факторам, влияющим на скорость лесовозного автотранспорта. Процесс ранжирования экспериментов выполняется с целью изучения полученных экспериментальных данных для дальнейшего выявления новых факторов и проверки добротности измерений по каждому фактору. Процедура вычисления суммы рангов по всем 35 учтённым факторам не требует математического обоснования и поэтому может быть выполнена для отсева малозначимых экспериментов. По распределению 162 измерений составлен рейтинг экспериментов по местам в ряду по росту суммы рангов, выполнена их группировка и определены условия проведения экспериментов, которые имели наилучшие и наихудшие места в рейтинге. По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что собирать информацию для наилучших экспериментов следует в летнее время при максимальной скорости движения автомобиля. Полученные результаты рейтингового распределения могут в дальнейшем быть использованы при оценке добротности факторов, влияющих на скорость лесовоза.

Ключевые слова: рейтинг, ранжирование, эксперимент, скорость, факторы, лесовоз**RATING OF EXPERIMENTS ON MULTI-FACTOR ANALYSIS
OF WOOD REMOVAL FROM FOREST PLOTS****¹Mokhirev A.P., ²Rukomoynikov K.P., ²Mazurkin P.M.**¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Lesosibirsk,

e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;

²Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The speed of logging trucks during the removal of wood from the cutting area is one of the significant indicators that affect the activities of the logging enterprise. When exporting wood, there are many factors of a natural and industrial nature. Factor analysis is an important step in improving the production process. To form measures aimed at improving production indicators, it is necessary to determine the significance of the factors. The study used measured data on the speed of atalasoft for hauling timber from the forest area on the coast of the lower warehouses during the harvesting season 2019-2020 for territory, Motyginiski and Yenisei forestry of the Krasnoyarsk territory. The quality of the collected material can be estimated by the Q-factor of the measurements. This significantly affects the results of the experiment. The paper presents the initial stage of factor analysis based on the rank distribution of 162 experiments on 35 factors affecting the speed of logging vehicles. The process of ranking experiments is carried out in order to study the obtained experimental data for further identification of new factors and to check the quality of measurements for each factor. The procedure for calculating the sum of ranks for all 35 factors taken into account does not require mathematical justification and therefore can be performed to eliminate insignificant experiments. Distribution 162 measurements, the rating of the experiments in the growth of the sum of ranks that made their group and the conditions for the experiments, which had the best and worst places in the ranking. Based on the results of the analysis, it can be concluded that it is necessary to collect information for the best experiments in the summer at the maximum speed of the car. The obtained results of the rating distribution can be used in the future to assess the quality factor of factors affecting the speed of the logging truck.

Keywords: rating, ranking, experiment, speed, factors, logging truck

От скорости движения автотранспортных средств, в том числе при вывозке древесины с верхнего склада лесосеки, зависят основные экономические критерии оценки эффективности предприятия [1–3]. Особенностью движения автолесовоза по лесной дороге является большое количество

влияющих на него факторов, как производственного, так и природно-климатического характера [4–7].

В предыдущих исследованиях авторского коллектива [8, 9] проведен многофакторный анализ влияния природно-производственных факторов на скорость движения

лесовоза. Однако все 162 проведенных эксперимента не были проверены на их репрезентативность. Для этого необходимо провести ранжирование для всех учтенных 35 природно-производственных факторов и затем выполнить рейтинг экспериментов по росту суммы рангов. Предварительно значения каждого фактора принимались по вектору предпорядка предпочтительности «лучше – хуже».

Целью настоящего исследования является определение значимости экспериментов по многофакторному анализу вывозки древесины с лесных участков для установления наилучших условий при сборе информации для экспериментов, а также для дальнейшего выявления новых факторов и проверки добротности измерений по каждому фактору.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования явилась природно-эргатическая система «Вывозка лесоматериалов по автомобильным дорогам», включающая следующие подсистемы с группами параметров, влияющих на скорость движения лесовоза: время въезда на измеряемый участок (X1–X4); приведенные координаты участка (X5–X7); параметры водителя (X8–X10); параметры лесовоза (X11–X19, X35); характеристика дорожного покрытия (X20–X23, X34); состояние покрытия (X24–X25); метеорологические данные (X26–X33).

В ходе исследования все 35 факторов были эвристическим способом учтены при вывозке древесины с верхних складов лесной территории на береговые нижние склады во время лесозаготовительного сезона 2019–2020 гг. по территории Мотыгинского и Енисейского лесничеств Красноярского края.

Для выявления значимости всех рассматриваемых факторов, включая и скорости движения лесовоза, выполнено 162 наблюдения, заключающихся в регистрации всех учтенных факторов в различных природно-производственных условиях. При этом кодовые значения некоторых факторов ранжировались рангами. Исследования проводились при условиях: элементарный участок дороги для одного измерения принимался без поворотов длиной более 300 м. На этом участке измерялся постоянный средний уклон в промилле. При этом учитывалось, что на элементарном участке дороги достигается равномерная скорость движения лесовоза с грузом или без него.

Результаты исследования и их обсуждение

В статье приведены результаты рейтинга экспериментов по ранжированию значений каждого из 35 факторов для последующего многофакторного анализа дополнением парных сравнений между всеми факторами вывозки древесины с верхних складов лесных участков.

Интуитивно ясно, что многие факторы влияют только на скорость движения лесовоза. Однако при этом из 35 факторов парными сравнениями могут быть упущены подгруппы факторов, обладающих сильными парными закономерностями. Например, метеорологические параметры между собой имеют высокие коэффициенты корреляции. Поэтому при полном факторном анализе при синтезе иерархий мы придерживаемся закона Барри Коммонера «Все связано со всем» [10], то есть любой фактор в какой-то количественной мере (корреляции) влияет на изменение значений других количественно выраженных факторов.

Иерархия является некоторой абстракцией структуры системы, предназначенной для изучения функциональных взаимодействий ее компонент и их воздействий на систему в целом [11, с. 12]. Метод анализа иерархий получил широкое распространение.

В нашем случае система (162 наблюдений по 35 факторам, включая и скорость движения лесовоза) известна, а для неё вначале были эвристически определены 35 количественных параметров. Для моделирования ранговых распределений по каждому из 35 факторов вначале необходимо выполнить их распределение по вектору «лучше – хуже».

Разнонаправленные по содержательному смыслу факторы нельзя объединять. При этом ранги применяются для устранения проблемы с размерностью факторов (как известно, нельзя складывать факторы с разными размерностями). Тогда появляется возможность количественного описания всей системы параметров, в нашем случае для системы «Вывозка лесоматериалов по автомобильным дорогам».

Применим следующий способ упорядочения значений параметров по вектору предпорядка предпочтительности «лучше → хуже» по рангам $R = 0, 1, 2, \dots$ (табл. 1). При одинаковой содержательной направленности всех учтенных факторов появляется возможность их последовательного суммирования. Затем суммирование рангов у всего списка параметров системы; образу-

ется рейтинг (табл. 2), причем лучшим будет элемент с наименьшей суммой рангов.

Из данных табл. 1 видно, что 25 факторов имеют направленность «чем меньше, тем лучше», поэтому ранги распределяются вдоль оси абсцисс «ранги от 0, 1, 2 и выше» с минимального значения.

Остальные 10 факторов имеют направленность «чем больше, тем больше», поэтому значения этих факторов по оси рангов убывают.

В табл. 3 представлена таблица, количество повторяющихся экспериментов для рангов 0, 1, 2.

Таблица 1

Установление кода направленности для среды РАНГ в Excel по вектору предпочтения «лучше → хуже»

Фактор	Наименование	Лучше меньше	Лучше больше	Код
X01	Номер месяца в году	+		1
X02	Номер суток в месяце	+		1
X03	Номер часа в сутках	+		1
X04	Время движения по участку дороги, мин	+		1
X05	Широта	+		1
X06	Долгота	+		1
X07	Высота над уровнем моря, м	+		1
X08	Стаж работы водителя, лет		+	0
X09	Возраст водителя, лет	+		1
X10	Время в пути, ч	+		1
X11	Колесная формула лесовоза	+		1
X12	Грузоподъемность лесовоза, т		+	0
X13	Тип лесовоза (тягач, прицеп, полуприцеп)		+	0
X14	Время эксплуатации лесовоза, лет	+		1
X15	Мощность двигателя, л.с.		+	0
X16	Пробег лесовоза, тыс. км	+		1
X17	Время с капремонта лесовоза, мес.	+		1
X18	Нагруженность (масса груза / грузоподъемность)	+		1
X19	Тип шин	+		1
X20	Тип покрытия дороги		+	0
X21	Ширина дорожного покрытия, м		+	0
X22	Время эксплуатации дороги с момента строительства, лет	+		1
X23	Количество капремонтов дороги, шт.	+		1
X24	Влажность дорожного покрытия (сухое; влажное; сырое; мокрое; насыщенное водой)	+		1
X25	Вид снежно-ледяного покрытия (без снега; уплотненный снег; снежное сухое; мокрый снег; снежно-ледяное)	+		1
X26	Температура воздуха, °С		+	0
X27	Атмосферное давление, мм рт. ст.	+		1
X28	Относительная влажность воздуха на высоте 2 м, %	+		1
X29	Скорость ветра, м/с	+		1
X30	Горизонтальная дальность видимости, км		+	0
X31	Температура точки росы, °С		+	0
X32	Количество осадков, выпавших за 12 ч, мм	+		1
X33	Высота снежного покрова (вне дороги), мм	+		1
X34	Уклон, ‰	+		1
X35	Скорость движения, км/ч		+	0

Таблица 2

Фрагмент (первые и последние три места) рейтинга экспериментов и их места по сумме рангов (числитель – ранг, знаменатель – значение фактора)

№ опыта	94	59	47	...	147	148	136
Место эксперимента	1	2	3	...	160	161	162
Сумма рангов	1263	1476	1515	...	3071	3158	3230
X1	86	86	86	...	17	17	0
	7	7	7	...	3	3	1
X2	151	57	64	...	27	27	124
	30	12	13	...	8	8	24
X3	48	144	53	...	95	99	142
	9,4	22,4	0,25	...	16,2	16,8	22,1
X4	4	22	36	...	125	110	88
	1	1,2	1,3	...	2,3	2	1,8
X5	5	110	92	...	18	21	119
	0,02378	0,73433	0,6855	...	0,26182	0,29795	0,7608
X6	62	89	120	...	8	18	15
	3,55743	4,459	4,56501	...	0,18558	0,38657	0,2397
X7	30	108	129	...	50	47	56
	149	359	417	...	176	172	186
X8	121	121	101	...	0	0	26
	3	3	7	...	34	34	22
X9	0	0	89	...	146	146	112
	25	25	44	...	57	57	47
X10	6	25	6	...	145	149	160
	1	1,5	1	...	21	22	33
X11	0	0	0	...	84	84	84
	0	0	0	...	1	1	1
X12	0	0	0	...	84	84	84
	56	56	56	...	40	40	40
X13	0	0	0	...	96	96	96
	3	3	3	...	2	2	2
X14	13	13	13	...	157	157	153
	2,17	2,17	2,17	...	5,83	5,83	5,67
X15	0	0	0	...	84	84	84
	420	420	420	...	300	300	300
X16	59	59	20	...	157	157	153
	42	42	24,8	...	220	220	215
X17	22	22	22	...	22	22	22
	9	9	9	...	9	9	9
X18	0	0	0	...	130	130	130
	0	0	0	...	0,95	0,95	0,95
X19	96	96	96	...	0	0	0
	1	1	1	...	0	0	0
X20	12	12	12	...	12	12	12
	1	1	1	...	1	1	1
X21	0	86	0	...	86	36	36
	8	6	8	...	6	7	7
X22	123	37	82	...	129	146	94
	31	1,75	8,75	...	32,75	35,75	13,4
X23	103	0	103	...	103	103	103
	2	0	2	...	2	2	2
X24	106	0	0	...	0	106	96
	3	0	0	...	0	3	2

Окончание табл. 2							
№ опыта	94	59	47	...	147	148	136
Место эксперимента	1	2	3	...	160	161	162
Сумма рангов	1263	1476	1515		3071	3158	3230
X25	0	0	0	...	100	157	144
	0	0	0		1	4	3
X26	8	57	39	...	144	144	109
	23,3	14,1	16,1		-7,6	-7,6	-0,7
X27	75	90	96	...	109	109	81
	743	748	749		751	751	745
X28	32	88	46	...	65	65	156
	64	90	71		83	83	96
X29	0	0	21	...	148	148	135
	0	0	1		5	5	4
X30	0	52	0	...	145	145	128
	50	40	50		4	4	9
X31	5	40	88	...	133	133	104
	16	12,5	8,3		-10	-10	-1,3
X32	0	0	0	...	126	126	100
	0	0	0		2	2	0,9
X33	0	0	0	...	159	159	130
	0	0	0		75	75	63
X34	96	31	79	...	61	19	55
	9	-28	2		-1	-40	-7
X35	0	31	22	...	106	102	99
	69,3	45,5	49,1		26	27	28

Таблица 3

Количественное распределение экспериментов по местам в рейтинге

Место в рейтинге	Код	Количество экспериментов для рангов		
		0	1	2
1	X11	84	78	–
2	X12	66	18	42
3	X13	96	31	35
4	X15	66	18	78
5	X19	96	66	–
6	X20	12	107	43
7	X23	73	30	53
8	X18	78	2	1
9	X33	100	2	2
10	X35	1	1	2
11	X04	2	2	6
12	X21	36	50	44
13	X29	21	73	19
14	X17	2	20	105
15	X30	52	21	31
16	X34	1	1	1
17	X24	69	27	10
18	X27	1	4	14
19	X03	1	1	3
20	X28	2	1	1
21	X09	15	16	10
22	X02	12	4	2
23	X05	1	1	1

Окончание табл. 3

Место в рейтинге	Код	Количество экспериментов для рангов		
		0	1	2
24	X25	100	41	3
25	X07	1	1	1
26	X22	18	3	2
27	X14	13	43	10
28	X01	8	9	43
29	X06	1	1	1
30	X26	4	4	2
31	X31	1	4	2
32	X10	6	19	11
33	X16	16	4	20
34	X32	66	55	17
35	X08	5	21	4

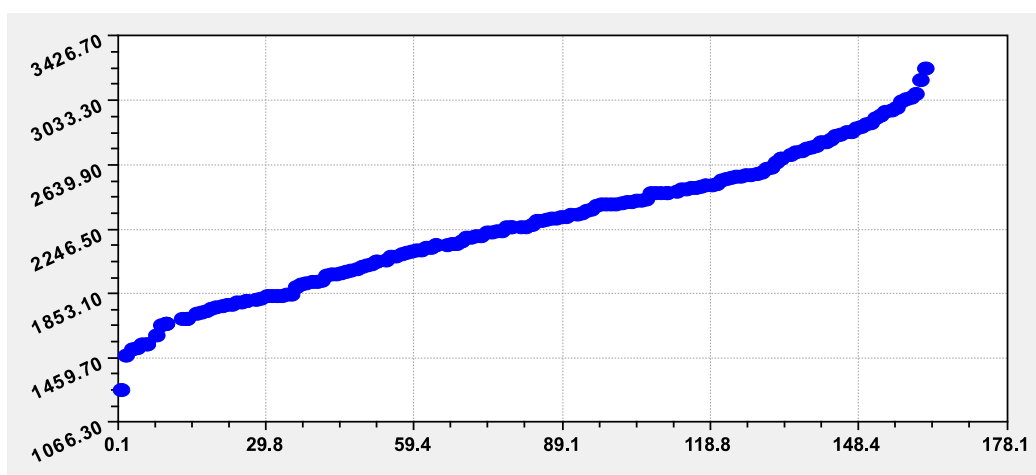


Рис. 1. Зависимость суммы ранга от эксперимента

Ранг ($R = 0, 1, 2, 3, \dots$) отличается от места в рейтинге ($I = 1, 2, 3, \dots$) добавлением цифры 0. Это позволяет использовать положительную полуось абсцисс в моделировании методом идентификации [12].

Ранжируем каждый фактор в программной среде Excel. Для этого существует функция РАНГ. В функции =РАНГ(A1;A\$1:FF\$1;1) для программной среды Excel приняты условные обозначения: A1 – первая ячейка в первой анализируемой строке; FF\$1 – последняя ячейка в первой анализируемой строке; 0\1 – ранжирование по убыванию (0) или возрастанию (1).

В итоге получаем распределение мест I по убыванию (10 факторов) или возрастанию (25 факторов) значений ранжируемого показателя. Ранг R будет равен $I - 1$.

В табл. 2 представлен фрагмент таблицы с рейтингом экспериментов, начиная с наименьшей суммы рангов, т.е. с наилучшим влиянием. Из этой таблицы видим, что наилучшие условия у эксперимента № 94, далее № 59 и № 47. Охарактеризуем их условия. Все лучшие рейтинговые эксперименты проведены без снежного покрова, в летнее время, без осадков или с небольшим их количеством. Движение порожнее, по гравийной дороге, с небольшим уклоном с относительно высокой скоростью движения (от 45 до 70 км/ч).

Наихудшие условия экспериментов с наибольшей суммой рангов следующие. Зимнее или весеннее (март) время года со снежным или снежно-ледяным покрытием дороги и отрицательным уклоном дороги (спуск). Температура воздуха отрицательная, но от-

носителем не низкая (от -0° до -8°). За последние 12 ч до измерения присутствовали осадки. Автомобиль груженный со скоростью движения 26–28 км/ч.

Для дальнейшего анализа эксперименты поделены на группы по местам рангов (1 группа с 1 по 10 место, 2 группа с 11 по 20 место и т.д.). В табл. 4 представлены номера групп, суммы суммарных

значений экспериментов. Так как в группе может быть различное количество экспериментов (столбец 3), то определено среднее значение суммы экспериментов (столбец 4) и построен график, отражающий среднюю сумму эксперимента в группе.

Для отображения расположения групп по отношению к эксперименту составим график, представленный на рис. 2.

Таблица 4

Характеристики групп значений

Группа	Сумма рангов	Количество экспериментов в группе	Средняя сумма
1	16997	11	1545,182
2	15630	9	1736,667
3	18034	10	1803,4
4	18781	10	1878,1
5	19843	10	1984,3
6	20767	10	2076,7
7	21614	10	2161,4
8	22300	10	2230
9	20634	9	2292,667
10	23662	10	2366,2
11	26844	11	2440,364
12	22500	9	2500
13	25746	10	2574,6
14	27011	10	2701,1
15	28292	10	2829,2
16	32369	11	2942,636
17	6388	2	3194
Итого	367412	162	2267,975

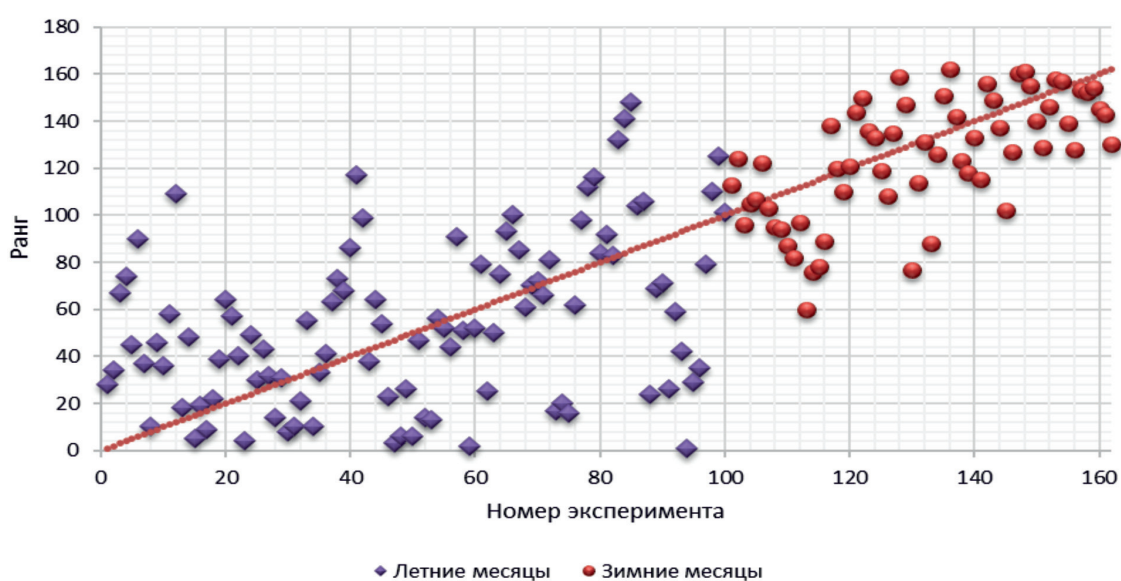


Рис. 2. Местоположение сумм экспериментов в эксперименте по группам

По графику (рис. 2) можно сделать вывод, что группы с наилучшими результатами (наименьшей суммой рангов) находятся в первых экспериментах. Однако первая половина групп имеет большой разброс, вторая половина наиболее сгруппирована. Можно отметить, что первые 100 экспериментов проводились в летнее время, остальные со 101 по 162 в зимнее и весеннее (с декабря по март включительно). В летнее время происходит наибольший разброс значений. Это объясняется большим диапазоном значений природно-климатических условий, влияющих на скорость движения в летнее время, таких как количество осадков, выпавших за последние 12 часов; тип покрытия дороги.

Заключение

Про проведенному анализу можно сделать вывод, что собирать информацию для наилучших экспериментов следует в летнее время при максимальной скорости движения автомобиля.

Полученные результаты рейтингового распределения могут в дальнейшем быть использованы при оценке добротности факторов, влияющих на скорость лесовоза.

Исследование выполнено 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. Grigorev I.V., Khitrov E.G., Kalistratov A.V., Stepanischeva M.V. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density. Proceedings of the 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconferences, Vol. 2 «Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems», 16–26 June 2014, Albena, Bulgaria, 2014. P. 339–344.

2. Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... докт. техн. наук. Архангельск, 2017. 406 с.

Kozlov V.G. Methods, models and algorithms for designing logging roads taking into account the Influence of climate

and weather on traffic conditions: dis. ... dokt. tekhn. nauk. Arkhanhelsk, 2017. 406 p. (in Russian).

3. Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Дорохин С.В. Влияние условий движения на скоростные режимы транспортных потоков при вывозке древесины // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 4. С. 153.

Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Dorokhin S.V. Influence of traffic conditions on high-speed modes of transport flows during wood removal // Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii. 2014. № 4. P. 153 (in Russian).

4. Коваленко Т.В., Коточигов М.В. Использование климатической информации для организации транспортного освоения лесных массивов // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: сборник научных трудов. Выпуск 6. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. С. 104–108.

Kovalenko T.V., Kotochigov M.V. Use of climate information for the organization of transport development of woodlands // Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennogo kompleksa: sbornik nauchnyh trudov. Vypusk 6. SPb.: SPbGLTU, 2013. P. 104–108 (in Russian).

5. Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning. Journal of Mathematical Models and Algorithms. 2007. № 6 (1). P. 3–23.

6. 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. № 24. P. 229–237 (in Russian).

7. Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Многофакторное влияние природно-производственных условий на скорость движения автолесовозов // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 4 (48). С. 88–96. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-4-88-96.

Mokhirev A.P., Rukomoynikov K.P., Mazurkin P.M. Multifactorial impact of the natural production conditions on the speed of atalasoft // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2020. № 4 (48). P. 88–96. DOI: 10.18324 / 2077-5415-2020-4-88-96 (in Russian).

8. Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Анализ факторов, влияющих на скорость автолесовозов // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 20–25. DOI: 10.17513/use.37509.

Mokhirev A.P., Rukomoynikov K.P., Mazurkin P.M. Analysis of factors affecting the speed of atalasoft // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2020. № 11. P. 20–25. DOI: 10.17513/use.37509 (in Russian).

9. Торсуев Н.П. Популярная экология (полезные советы в повседневной жизни). Казань: Изд-во «Экоцентр», 1997. 236 с.

Torsuev N.P. Popular ecology (useful tips in everyday life). Kazan', 1997. 236 p. (in Russian).

10. Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. Factor analysis of annual global carbon dynamics (according to Global Carbon Budget 2017v1.3.xlsx): materials of the International Conference «Research transfer». Reports in English (part 2). November 28, 2018. Beijing, PRC. P. 192–224.

11. Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. Factor analysis of meteorological parameters on the stage of growth of birch leaves. International Journal of Current Research. 2019. № 11 (10). P. 7774–7779. DOI: 10.24941/ijcr.36856.10.2019.