

DOI: 10.15393/j2.art.2023.6823

УДК 630 \* 319

*Статья*

## **Повышение экологической безопасности трассы Р-21 «Кола» как центрального элемента лесной инфраструктуры Карелии**

**Графова Елена Олеговна**

*кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), [grafova.elena.karelia@gmail.com](mailto:grafova.elena.karelia@gmail.com)*

**Степанов Артем Валерьевич**

*кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), [stepanov@petrstu.ru](mailto:stepanov@petrstu.ru)*

**Сюнёв Владимир Сергеевич**

*доктор технических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), [siounev@petrstu.ru](mailto:siounev@petrstu.ru)*

**Катаров Василий Кузьмич**

*кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), [vkatarov@petrstu.ru](mailto:vkatarov@petrstu.ru)*

*Получена: 27 января 2023 / Принята: 27 февраля 2023 / Опубликовано: 10 марта 2023*

---

**Аннотация:** В статье рассматривается проблема загрязнения водных объектов поверхностными дождевыми и тальными стоками, выносящими с дорожного полотна взвешенные вещества и нефтепродукты. Особенно это актуально для транспортных магистралей, связывающих различные регионы Российской Федерации. Авторами показано, что типичным представителем дорог этой группы является расположенная в Республике Карелия автодорога Р-21 «Кола». Анализ условий эксплуатации этой транспортной магистрали показал, что она не только выполняет функцию транзитного коридора для других регионов России, но и представляет собой ключевой элемент, связывающий в единую логистическую цепь предприятия лесного комплекса всего Северо-Западного федерального округа. Для снижения негативного воздействия на прилегающие к трассе водные объекты предложено организовать отведение поверхностных вод с дорожного полотна в прикормочные лотки. Далее эти воды планируется отводить за пределы откосов дорожной насыпи с последующей их очисткой

в самотечных гидротехнических сооружениях перед окончательным сбросом в водные объекты. Использование авторами геоинформационных систем позволило установить границы водных объектов, пересекаемых автомагистралью Р-21 «Кола». По результатам исследования определены количество и размеры водоохранных зон. Анализ полученных результатов показал, что водоохранные зоны в среднем встречаются каждый второй километр. Этого количества недостаточно для обеспечения экологической безопасности прилегающих территорий. В работе обоснована необходимость организации дополнительных комплексов отведения и очистки поверхностных вод на протяжении всей автомагистрали. Авторами определён расход дождевых и талых вод с существующих участков дороги в пределах водоохранных зон, что позволило предложить метод унификации систем водоотведения с дорожного полотна. Определена целесообразность установки водоотводных лотков через каждые 50—200 м. Показано, что это мероприятие обеспечит отведение и очистку поверхностных стоков с необходимой интенсивностью 0,6—1,9 л/с. Увеличение протяжённости участка водосбора приведёт к неконтролируемому переполнению лотков и переливу загрязнённых вод на откос дороги без очистки, что негативно повлияет на экологическое состояние придорожных территорий и прилегающих водных объектов.

**Ключевые слова:** транспорт; интенсивность движения; водные объекты; зона санитарной охраны; сток с дороги

---

DOI: 10.15393/j2.art.2023.6823

Article

## **Increasing the environmental safety of the R-21 "Kola" road as a central element of the Karelian forest infrastructure**

**Elena Grafova**

*Ph. D. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),  
[grafova.elena.karelia@gmail.com](mailto:grafova.elena.karelia@gmail.com)*

**Artyom Stepanov**

*Ph. D. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),  
[stepanov@petrsu.ru](mailto:stepanov@petrsu.ru)*

**Vladimir Syunev**

*D. Sc. in engineering, professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),  
[siounev@petrsu.ru](mailto:siounev@petrsu.ru)*

**Vasiliy Katarov**

*Ph. D. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),  
[vkatarov@petrsu.ru](mailto:vkatarov@petrsu.ru)*

*Received: 27 January 2023 / Accepted: 27 February 2023 / Published: 10 March 2023*

---

**Abstract:** The article deals with the problem of water bodies' pollution with surface rain and melts runoffs containing suspended solids and oil products from the roadway. The authors show that the R-21 "Kola" road located in the Republic of Karelia is a typical representative of the roads of this group. An analysis of the operating conditions of this transport highway showed that it not only serves as a transit corridor for other regions of Russia, but also represents a key element that links the enterprises of the forestry complex of the entire northwestern federal district into a single logistics chain. To reduce the negative impact on the water bodies adjacent to the highway the authors proposed wastewater disposal management to remove surface waters to gutters. These waters will be disposed down road slopes with their subsequent treatment in gravity hydraulic structures before final discharge into water bodies. The authors established the boundaries of water bodies crossed by the R-21 "Kola" highway by using geographic information systems. The number and size of water protection zones were determined and it was shown that these zones occurred every second kilometer on average. This number is not enough to ensure the environmental safety of the surrounding areas. The paper substantiates the need to organize additional complexes for surface waters

diversion and treatment throughout the entire highway. The calculations performed by the authors to determine the flow of rain and melt water from existing sections of the road within the water protection zones allowed them to propose a method for drainage systems unification. The expediency of installing drainage gutters every 50–200 m was determined. This measure will ensure the diversion and treatment of surface runoffs with the required intensity of 0,6–1,9 l / s. An increase of the runoff collecting area might lead to uncontrolled overflow of gutters and overflow of polluted water onto the road slope without treatment thus negatively affecting the ecological state of roadside areas and adjacent water bodies.

**Keywords:** transport; traffic intensity; water bodies; sanitary protection zone; runoff from the road

---

## 1. Введение

Республика Карелия расположена на Северо-Западе Российской Федерации и является транспортным коридором, соединяющим Мурманскую область с Ленинградской, Вологодской и Архангельской областями. На сегодняшний день в Республике Карелия насчитывается более 19 тыс. различных предприятий. Основными сферами промышленности в республике являются следующие отрасли: лесозаготовительная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная — 41,2 %, чёрная металлургия — 18,0 %, электроэнергетика — 14,8 %, машиностроение и металлообработка, цветная металлургия, пищевая промышленность — 5—9 % [1]. Таким образом, именно лесная промышленность является неоспоримым лидером в регионе. На долю республики приходится 23 % производимой в стране бумаги, 9 % — целлюлозы, 7,3 % — деловой древесины, 4 % — пиломатериалов, около 60 % — бумажных мешков [2]. Экономика Карелии, занимающей приграничное положение, долгие годы была ориентирована на экспорт. Более 50 % производимой продукции (а по ряду отраслей — до 100 %) шло на экспорт. Треть внешнего оборота республики направлялась в Финляндию. В современных реалиях ряд предприятий либо уже переориентировались, либо активно переходят на рынки Востока и Азии, где карельский производитель оказался в явном преимуществе, а именно: усовершенствованные под высокие европейские производства технологии деревообработки, а также преимущества качества северной древесины по плотности. Основными промышленными центрами являются: Петрозаводск, Кондопога, Сегежа, Костомукша, Питкяранта. На территории республики находятся три предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, в т. ч. АО «Сегежский ЦБК» — объём потребления сырья составляет 1,6 млн м<sup>3</sup>, ОАО «Кондопога» — 1,4 млн м<sup>3</sup>, ООО «РК-Гранд» — 0,4 млн м<sup>3</sup>. В деревообрабатывающей и плитной промышленности насчитывается более 10 предприятий, выпускающих широкий спектр продукции деревообработки [пиломатериалы, ориентированно-стружечные плиты (далее — ОСП), топливные гранулы, древесно-стружечные плиты (далее — ДСП), домокомплекты и другие виды продукции]. В последние годы введены новые мощности по лесопилению, в т. ч. ООО «Соломенский лесозавод» — до 300 тыс. м<sup>3</sup> пиломатериалов и ООО «Русский Лесной Альянс» — до 50 тыс. м<sup>3</sup>, по производству ориентированно-стружечных плит построен современный завод ООО ДОК «Калевала» мощностью 300 тыс. м<sup>3</sup>. Создание новых производств привело к увеличению объёмов переработки древесины на 1 млн м<sup>3</sup> в год.

Анализ структуры лесных насаждений региона по группам возраста по лесам, расположенным на землях лесного фонда, составляет: молодняки — 34,9 %, средневозрастные — 24,5 %, приспевающие — 7,4 %, спелые и перестойные — 33,2 %. В структуре лесных насаждений по группам древесных пород хвойные породы составляют 88 %, лиственные породы — 12 %. По целевому назначению площадь лесов распределяется на эксплуатационные леса — 7429,3 тыс. га и защитные леса — 2064,8 тыс. га.

Эксплуатационный запас спелых и перестойных насаждений по лесам на землях лесного фонда составляет 288596 тыс. м<sup>3</sup>, из которых хвойные — 254698 тыс. м<sup>3</sup> (88 %) и мягколиственные — 33808 тыс. м<sup>3</sup> (12 %). По основным породам: ель — 103502 тыс. м<sup>3</sup> (36 %), сосна — 151193 тыс. м<sup>3</sup> (52 %), берёза — 28516 тыс. м<sup>3</sup> (10 %), осина — 4914 тыс. м<sup>3</sup> (2 %). Средний объём хлыста в эксплуатационных насаждениях составляет 0,198 м<sup>3</sup> и распределяется по лесничествам — от 0,29 м<sup>3</sup> в Питкярантском лесничестве до 0,134 м<sup>3</sup> в Сосновецком лесничестве. Вместе с тем в последние годы на обеспеченной лесными ресурсами территории обострились проблемы сырьевого снабжения ведущих лесоперерабатывающих предприятий. Дефицит древесного сырья в Республике Карелия оценивается в объёме 2,0—2,1 млн м<sup>3</sup>, который покрывается завозом сырья из Вологодской и Архангельской областей. Несмотря на выгодное географическое положение, одной из основных проблем, сдерживающих развитие лесного комплекса Республики Карелия, является низкая степень обеспеченности транспортной инфраструктурой. Недостаточно развитая дорожно-транспортная инфраструктура ограничивает возможности более полного освоения эксплуатационных лесов и снижает экономическую доступность лесных ресурсов внутри региона [3]. Транспортная инфраструктура является неотъемлемой частью лесопромышленного комплекса, причём необходимо принимать во внимание как лесные дороги, так и дороги общего пользования. В настоящее время уже разработаны механизмы улучшения транспортной инфраструктуры. Этот вопрос актуален, в особенности, для арктических регионов [4].

В Карелии представлены все виды транспорта: железнодорожный, автомобильный, внутренний водный и морской, воздушный и трубопроводный. Большая часть транспортных услуг приходится на железнодорожный и автомобильный транспорт, меньшая — на водный и воздушный транспорт. По территории республики проходят два автомобильных коридора, обеспечивающих транзит грузов из южных и центральных регионов России в Мурманскую область и из восточных регионов в Финляндию: Мурманск — Санкт-Петербург — Новгород — Тверь — Москва — Тула — Воронеж — Ростов-на-Дону — Краснодар — Новороссийск — Сочи и Санкт-Петербург — Каргополь — Котлас — Сыктывкар — Кудымкар — Пермь с подходами в Пудож — Медвежьегорск — Костомукша — граница с Финляндией. Подобные транспортные коридоры встречаются и в других регионах России, например Якутии [5], и зарубежных странах [12], [13], [14]. Все автомобильные дороги Карелии в зависимости от вида собственности делятся на федеральные дороги, территориальные автомобильные дороги и ведомственные дороги. Общая протяжённость федеральных дорог на территории республики составляет 1758 км, или 13,6 % от общей протяжённости автодорог Карелии [6]. Исследователи [7] оценили потребность в дорогах общего пользования по СЗФО и выявили, что на сегодняшний день обеспеченность ими составляет около 27 %, поэтому необходимо дополнительно обеспечить около 19 тыс. км. Существующие лесные магистрали составляют только 29 % от требуемой протяжённости 106 тыс. км. Существующая лесная сеть веток по протяжённости составляет

36 % от требуемой. По расчётам, для полного транспортного освоения лесов Карелии необходимо дополнительное строительство 8,3 тыс. км таких дорог.

Вследствие протяжённости территории республики с севера на юг исторически сформировалась дорожная сеть моноподиального типа с образованием центрального коридора — автодороги Р-21 «Кола». Таким образом, целью настоящих исследований является обоснование использования трассы Р-21 «Кола» в качестве основного элемента лесопромышленной транспортной инфраструктуры Республики Карелия.

Оценивая интенсивность движения по центральной трассе Карелии, следует учитывать воздействие транспорта на состояние и устойчивость дорожных конструкций. Одним из разрушающих факторов является воздействие свободной воды, попадающей в конструктивные слои дорожной одежды при давлении колёсных пар транспортных средств. Источником поступающей воды, с учётом правильного выполнения строительных работ и мероприятий по отведению дренажных вод, являются дождевые осадки и талые воды, которые также способствуют размыву откосов дорожной насыпи и возникновению эрозионных и оползневых процессов. В связи с этим особое внимание при устройстве дорожного полотна следует уделять формированию водоотводных каналов и выпусков. С учётом требований безопасности дорожного движения и уклонов поверхности дороги следует обеспечить надёжное отведение воды в прикромочные лотки и своевременный сброс по отводным канавам к основанию откоса на рельеф или в водные объекты.

Дождевые и талые воды смывают с поверхностей дорожного полотна растворимые и нерастворимые примеси, а также частицы пыли и газа, находящиеся в приземных слоях атмосферы. Отводимые воды с дорог, как правило, загрязнены и содержат взвешенные вещества, являющиеся продуктами разрушения дорожного покрытия, истирания шин, частицы грунта с колёс автотранспорта, накапливающиеся за межуборочный период, пыль, продукты эрозии откосов дорожного полотна и придорожных кюветов. В особенности это касается лесовозного транспорта, выезжающего на дороги общего пользования с примыкающих к ним лесных дорог [8]. Также отводимая с полотна вода содержит нефтепродукты, образующиеся от разливов топлива при заправке и дозаправке, утечек антифриза, отработанные моторные масла и прочие углеводороды от транспортных средств. Отводимые загрязнения формируются на всех участках автодороги, но только воды, которые могут попасть в водоёмы, представляют особую опасность и должны подвергаться очистке [5]. Согласно Водному кодексу РФ, в водные объекты запрещается сбрасывать воды, не подвергшиеся очистке и обезвреживанию при проведении строительных работ в водоохранных зонах водных объектов и в границах водно-болотных угодий. Таким образом, в качестве второстепенной задачи проводится оценка выборки расчётных расходов отводимых с дорог поверхностных вод для участков трассы, пересекающих водоохранные зоны, с целью последующего подбора сооружений для отчки этого стока и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

## 2. Материалы и методы

Автомобильная дорога Р-21 «Кола» имеет протяжённость с юга на север Карелии, вдоль Ладожского и Онежского озёр, а также вдоль берега Белого моря и занимает особое место среди других дорог республики. Она концентрирует основные транспортные потоки региона. Так, например, это единственная дорога, соединяющая Мурманскую область с остальной частью России. Практически все крупные города Республики Карелия и производственные предприятия расположены в непосредственной близости от неё. Деревоперерабатывающие предприятия в Сегеже и Кондопоге, в силу их огромного потребления древесины, также нуждаются в дополнительном сырье из соседних регионов, таких как Архангельская и Вологодская области, и этот объём также будет доставлен до производства по трассе «Кола» (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Географическое положение автомобильной дороги Р-21 «Кола» и прилегающие региональные дороги

**Figure 1.** Geographical location of the R-21 «Kola» highway and adjacent regional roads

Для оценки интенсивности движения транспорта по дороге Р-21 «Кола» на основании данных 14 постов контроля проведён расчёт суточной среднегодовой интенсивности движения, который рассчитан прямым подсчётом всего проезжающего транспорта через пункт видеонаблюдения, где также проведена идентификация типа транспорта. Расчёт суточной среднегодовой интенсивности осуществляется по формуле

$$N_{\text{сут}} = \frac{\sum_{365}^1 24N_{\text{ч}}}{365}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{ч}}$  — часовая интенсивность движения.



Полученные данные распределены по районам, грузоподъёмности, числу полос движения и сведены в таблицу 1.

**Таблица 1.** Состав и интенсивность движения по автомобильной дороге Р-21 «Кола»

**Table 1.** The composition and intensity of traffic on the highway R-21 «Kola»

№	Адрес пункта учёта, км	Число полос движения	Среднегодовая суточная интенсивность движения, авт./сут.						
			Лег-ковые	Авто-бусы	Грузовые и автопоезда				Итого по всем типам
					в т. ч. грузоподъёмностью, т				
до 5 т	от 5 до 12 т	от 12 до 20 т	свыше 20 т						
Олонецкий район									
1	269 + 700	4	1875	0	169	244	825	204	3317
2	313 + 136	2	2517	17	205	256	961	49	4005
Пряжинский район									
3	383 + 530	3	4289	21	471	308	907	251	6247
Прионежский район									
4	403 + 130	2	4653	0	294	373	1002	201	6523
5	419 + 010	2	8228	56	407	406	1043	201	10341
6	436 + 394	2	9610	0	427	560	800	393	11790
Кондопожский район									
7	463 + 010	2	6215	49	313	345	749	245	7916
8	493 + 740	2	3365	34	217	253	732	80	4681
Медвежьегорский район									
9	607 + 545	3	2499	0	153	204	568	150	3574
Сегежский район									
10	721 + 000	4	2295	12	183	239	810	110	3649
Муезерский район									
11	753 + 950	2	1782	0	732	301	368	35	3228
Беломорский район									
12	796 + 880	2	1424	0	109	134	562	25	2254
Кемский район									
13	855 + 800	2	1338	0	105	155	531	95	2224
Лоухский район									
14	1009 + 505	2	1041	0	180	152	458	110	1941

Проведён прямой анализ интенсивности движения в зависимости от района размещения пунктов контроля. Для оценки автотрасса разбита на условные участки по районам, учтена площадь районов, по которым происходит трансфер к участкам лесозаготовок. Поскольку не все районы имеют прямой выход на автомагистраль Р-21 «Кола», площадь удалённых

районов суммировалась с транзитным районом. Обеспеченность районов региона транспортными путями оценивается коэффициентом Энгеля, рассчитываемым по формуле

$$K = \frac{L}{\sqrt{S \cdot H}}, \quad (2)$$

где  $L$  — протяжённость дорог в регионе, км;  $S$  — площадь территории региона, тыс. га;  $H$  — численность населения, тыс. чел.

Полученные данные представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Дополнительные факторы оценки интенсивности движения по автодороге Р-21 «Кола»

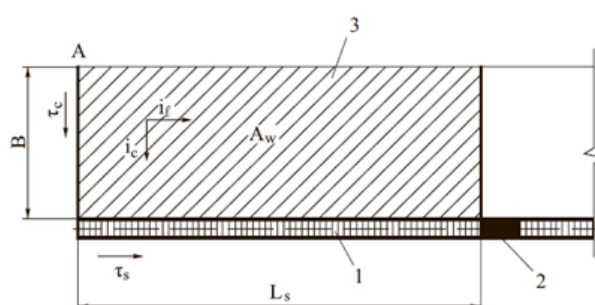
**Table 2.** Additional factors for assessing traffic intensity on the «Kola» R-21 highway

№ п/п	Наименование района, обеспечиваемого транспортной магистралью Р-21 «Кола»	Площадь района, тыс. га	Коэффициент Энгеля	Интенсивность движения авт./сут., более 20 т	Протяжённость участка дороги	Количество водоохранных зон, шт.	Площадь водных объектов, тыс. га
1	Лоухский	2124,3	0,068	110	141	140	250
2	Кемский и Калевальский	2094,4	0,099	95	81	38	243
3	Беломорский	1254,1	0,085	25	80	56	87
4	Сегежский и Муезерский	2667,2	0,072	110	118	74	394
5	Медвежьегорский и Пудожский	2341,8	0,106	150	43	27	304
6	Кондопожский	555,6	0,104	245	151	28	17
7	Прионежский и Суоярвский	1720,4	0,096	393	55	2	164
8	Пряжинский, Сортавальский и Лахденпохский	899,9	0,120	251	25	7	45
9	Олонецкий	350,9	0,141	204	116	20	7

Для определения расчётных расходов поверхностных дождевых и талых вод в пределах водоохранных зон автодороги Р-21 «Кола» в ГИС-системе проанализирована карта Республики Карелия. На местах пересечения автотрассы с водными объектами, включая болотные угодья, определены количество, ширина водоохранных зон, площади участков автодорог, с которых необходимо осуществить организованное отведение поверхностных вод. Расчётные расходы дождевых и талых вод  $q_r$  определены по методу предельных интенсивностей [10]:

$$q_r = \frac{1}{6} \frac{A\varphi}{t_r^n}, \quad (3)$$

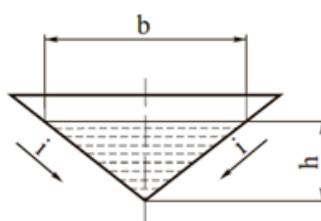
где  $A$  — параметр, равный максимальной интенсивности дождя продолжительностью 1 мин при принятом периоде однократного превышения расчётной интенсивности дождя, мм/мин.;  $\varphi$  — коэффициент стока дождевых вод, учитывающий тип покрытия;  $t_r$  — расчётная продолжительность протекания дождевых вод до рассчитываемого сечения, мин;  $n$  — показатель степени, характеризующий изменение расчётной интенсивности дождя по времени. Для расчёта принята схема сбора потока воды с участка, представленная на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Схема распределения стока до расчётного створа:  $A$  — наиболее удалённая точка водосбора;  $B$  — ширина полотна;  $1$  — придорожный лоток;  $2$  — выпускной створ;  $3$  — водосборная площадь;  $L_s$  — расстояние до отметки переполнения лотка

**Figure 2.** Flow distribution diagram to the design site:  $A$  – the most remote watershed point;  $B$  – width of the roadbed;  $1$  – roadside gutter;  $2$  – outlet section;  $3$  – catchment area;  $L_s$  – distance to the gutter overflow elevation.

Соотношение продольных уклонов лотка  $i_l$  и поперечных уклонов  $i_c$  покрытий, расчётный уклон и длина склона приняты по линии наибольшего ската, определённого по данным топографии участков дороги. Модель лотка принята треугольной формы (рисунок 3).



**Рисунок 3.** Форма профиля придорожного лотка:  $b$  — ширина потока воды в лотке;  $i$  — поперечный уклон стенок лотка;  $h$  — глубина потока воды в лотке

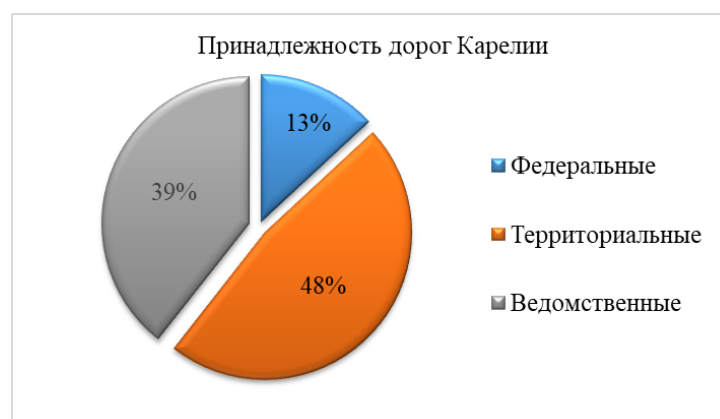
**Figure 3.** Roadside Gutter Profile Shape:  $b$  – the width of the water flow in the gutter;  $i$  – transverse slope of the walls of the gutter;  $h$  – depth of water flow in the gutter

По результатам расчётов сформирована выборка из 835 участков водосбора различной интенсивности. Для оценки выборки проведён дисперсионный анализ. Для наглядности получения результатов построена гистограмма относительных частот (см. рисунок 6).

### 3. Результаты

#### 3.1. Оценка транспортной инфраструктуры Республики Карелия

Территориальные автомобильные дороги являются собственностью Республики Карелия и находятся в оперативном управлении Комитета по строительству, эксплуатации и содержанию автомобильных дорог РК. Протяжённость данной категории дорог 6080 км, или 47 % протяжённости автомобильного сообщения республики. Ведомственные дороги, принадлежащие предприятиям различных организационных форм, составляют 5097 км, или 39,4 % всех дорог республики. Распределение принадлежности дорог Карелии представлено на рисунке 4.



**Рисунок 4.** Принадлежность дорог Карелии

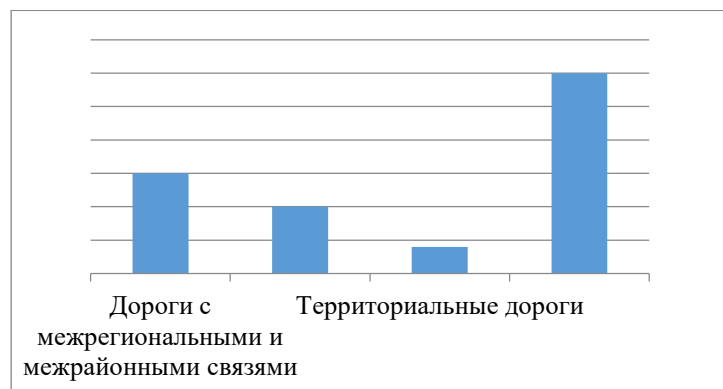
**Figure 4.** Roads of Karelia affiliation

Большая часть анализируемых федеральных дорог представлены усовершенствованным (асфальтобетонным) покрытием. Дороги регионального значения по типам покрытия представлены следующим образом:

- с усовершенствованным (асфальтобетонным) покрытием — 1747 км;
- с песчано-гравийно-щебёночным покрытием — 3010 км;
- без покрытия (грунтовые) — 1323 км.

Ведомственные дороги в большинстве своём принадлежат лесной отрасли и представляют собой дороги с грунтовым покрытием. Таким образом, с учётом всех форм собственности протяжённость дорог с асфальтобетонным покрытием составляет 3505 км (27,1 %), песчано-гравийно-щебёночным покрытием — 3010 км (23,27 %), без покрытия (грунтовые) — 6420 км (49,63 %).

Интенсивность движения в Республике Карелия колеблется в пределах от 1000 до 2000 авт./сут. (рисунок 5) за счёт межрегиональных и межрайонных транспортных связей.



**Рисунок 5.** Средняя интенсивность движения по дорогам Карелии, авт./сут.

**Figure 5.** Average intensity of traffic on the roads of Karelia, cars/day

При определении плотности дорог на единицу площади выявляется следующая закономерность: в северной части территории это 1,5 км/1000 га, в центральной части — 2 км/1000 га и в южной части — 4 км/1000 га. Оценка обеспеченности дорогами населения и промышленности, в особенности лесной отрасли, находится на достаточно низком уровне. При сравнении полученных данных с показателями по Московской и Ленинградской областям по критерию Энгеля, что составило 0,67 и 0,71 соответственно [11], уровень обеспеченности автодорогами районов Карелии составляет 0,068—0,141.

### 3.2. Оценка расходов вод, отводимых с дорожного полотна автодороги Р-21 «Кола»

На основе расчётных расходов отведения поверхностных вод с дорожного покрытия в пределах водоохранных зон проведён дискретный анализ по частотам встречаемости полученных расходов по типам интенсивности водоотведения, представленных в таблице 3.

**Таблица 3.** Дискретный статистический ряд расчётных расходов поверхностных вод с участков водоохранных зон автодороги Р-21 «Кола»

**Table 3.** Discrete statistical series of estimated surface water flows from sections of water protection zones of the «Kola» R-21 highway

Наименование	Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариации расходов, л/с	$X_i$	0,6	1,9	2,5	3	4	5	6	8
Повторяемость	$n_i$	203	403	17	119	23	29	29	12
Относительные частоты	$p_i$	0,24	0,48	0,02	0,14	0,03	0,03	0,03	0,01

Для оценки выборки проведён её дисперсионный анализ. Для наглядности получения результатов построена гистограмма относительных частот (рисунок 6).



**Рисунок 6.** Средняя интенсивность движения по дорогам Карелии, авт./сут.

**Figure 6.** Average intensity of traffic on the roads of Karelia, cars/day

Наиболее высокая частота встречаемости на рассматриваемых участках соответствует расходу 1,9 л/с. Доверительному диапазону частот соответствует интервал 0,6—1,9 л/с. Средняя длина участка составляет 50—200 м.

#### 4. Обсуждение и заключение

Автомобильная сеть дорог Республики Карелия представлена дорогами моноподиального типа с образованием центрального коридора — автодороги Р-21 «Кола». Плотность дорог с севера на юг увеличивается при показателях 1,5—4 км/1000 га.

Автодороги, обеспечивающие широтные связи и выход к границе с Финляндией, соответствуют интенсивности движения до 3000 авт./сут. На автомобильных дорогах, обслуживающих транспортные связи в межрайонном и внутрирайонном сообщении, интенсивность движения составляет 500—1500 авт./сут. На остальной сети территориальных дорог, обеспечивающих перевозки грузов и пассажиров преимущественно во внутрирайонном сообщении, размеры транспортных потоков не превышают 300—500 авт./сут.

Критерий Энгеля составляет 0,068—0,141, что демонстрирует низкую обеспеченность районов Карелии дорогами. Количество водоохранных зон составляет 392, что при протяжённости автомагистрали Р-21 «Кола» 810 км свидетельствует о том, что в среднем водоохранные зоны по трассе встречаются каждый второй километр, а это подтверждает необходимость отведения и очистки поверхностных вод перед их сбросом в водные объекты

для снижения негативного воздействия транспорта на них. Наиболее часто встречаемый расход поверхностных стоков до участка переполнения лотка, где необходимо устанавливать водоотводные лотки, составляет 0,6—1,9 л/с, при этом длина участка равняется 50—200 м.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023-128).*

## Список литературы

1. Герасимов Ю. Ю., Соколов А. П., Катаров В. К. Разработка системы оптимального проектирования сети лесовозных автомобильных дорог // Информационные технологии. 2011. № 1. С. 39—43.
2. Степанов А. В., Петров А. Н. Анализ сети лесовозных дорог Республики Карелия // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 8-2 (145). С. 78—81.
3. Стратегия развития лесного комплекса Республики Карелия до 2030 года. Петрозаводск, 2019. 64 с.
4. Елисеев Д. О., Наумова Ю. В. Программно-целевое управление развитием транспортной системы Арктической зоны: цели, задачи и ожидаемые результаты // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. № 12-1 (70). С. 226—234. DOI: 10.24411/2411-0450-2020-11054.
5. Тарасов П. И., Зырянов И. В., Хазин М. Л. Транспортный коридор через западную Якутию // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-техн. журнал. 2018. № 6. С. 170—184. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-170-184.
6. Постановление Правительства РФ от 17.11.2010 № 928 «О перечне автомобильных дорог общего пользования федерального значения» / ФКУ «Управление автомобильной магистрали Санкт-Петербург — Мурманск Федерального дорожного агентства». Петрозаводск, 2011. 28 с.
7. Бжеленко П. В., Антонова Т. С., Тюрин Н. А. Количественная оценка объёмов лесного дорожного строительства для полного транспортного освоения лесов в Северо-Западном федеральном округе / Цифровые технологии в лесном секторе: Материалы II Всерос. научно-техн. конф.-вебинара, Санкт-Петербург, 18—19 февраля 2021 года. СПб.: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, 2021. С. 32—34.
8. Иващук О. А. Оценка, прогнозирование и оптимизация загрязнённости поверхностного стока с автодорог в условиях конкретного региона (на примере г. Орла) // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). 2008. № 4 (15). С. 112—117.
9. Ким А. Н., Графова Е. О. Особенности очистки поверхностных стоков федеральной трассы «Кола» // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 10-11 (694-695). С. 49—59.
10. ОДМ 218.3.115–2019 Конструирование и расчёт водоотводных лотков закрытого типа для автомобильных дорог и аэродромов / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). М., 2021. 180 с.
11. Швалов П. Г. Проблемные факторы развития логистики скоростных перевозок в макро- и мезологистических системах // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2016. № 4 (4). С. 133—142.

12. Kelly M. C., Germain R. H., Bick S. Impacts of Forestry Best Management Practices on Logging Costs and Productivity in the Northeastern USA // *Journal of Forestry*. 2017. № 6 (115). P. 503—512. DOI: 10.20546/ijcmas.2021.1001.292.
13. Sustainable forest management a global review / Dh. Kumar, C. L. Thakur, D. R. Bhardwaj, N. Sharma, H. Sharma, P. Sharma // *Int. J. Curr. Microbiol.* 2021. App. Sci. Vol. 10. P. 2529—2541.
14. The road towards wildlife friendlier infrastructure: Mitigation planning through landscape-level priority settings and species connectivity frameworks / Evi A. D. Paemelaere, A. Mejía, S. Quintero, M. Hallett, F. Li, A. Wilson, H. Barnabas, A. Albert, Rh. Li, L. Baird, G. Pereira, J. Melville // *Environmental Impact Assessment Review*. 2023. Vol. 99. 20 p. DOI: 10.1016/j.eiar.2022.107010.

## References

1. Gerasimov Yu. Yu., Sokolov A. P., Katarov V. K. Development of an optimal design system for a network of logging roads. *Information technologies*, 2011, no. 1, pp. 39–43. (In Russ.)
2. Stepanov A. V., Petrov A. N. Analysis of the network of logging roads in the Republic of Karelia. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, no. 8-2 (145), pp. 78—81. (In Russ.)
3. Strategy for the development of the forest complex of the Republic of Karelia until 2030. Petrozavodsk, 2019. 64 p. (In Russ.)
4. Eliseev D. O., Naumova Yu. V. Program-targeted management of the development of the transport system of the Arctic zone: goals, objectives and expected results. *Economics and business: theory and practice*, 2020, no. 12-1 (70), pp. 226—234. doi: 10.24411/2411-0450-2020-11054. (In Russ.)
5. Tarasov P. I., Zyryanov I. V., Khazin M. L. Transport corridor through western Yakutia. *Mining information and analytical bulletin: scientific and technical journal*, 2018, no. 6, pp. 170—184. doi: 10.25018/0236-1493-2018-6-0-170-184. (In Russ.)
6. Decree of the Government of the Russian Federation of November 17, 2010, no. 928 «On the list of public roads of federal significance», FKU «Management of the St. Petersburg — Murmansk Highway of the Federal Road Agency». Petrozavodsk, 2011. 28 p. (In Russ.)
7. Bzhelenko P. V., Antonova T. S., Tyurin N. A. Quantitative assessment of the volume of forest road construction for the full transport development of forests in the Northwestern Federal District. *Digital technologies in the forest sector: Proceedings of the II All-Russian scientific and technical conference-webinar, St. Petersburg, February 18—19, 2021*. St. Petersburg, St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirova, 2021, pp. 32—34. (In Russ.)
8. Ivashchuk O. A. Estimation, forecasting and optimization of pollution of surface runoff from roads in a particular region (on the example of the city of Orel). *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Institute (State Technical University)*, 2008, no. 4 (15), pp. 112—117. (In Russ.)
9. Kim A. N., Grafova E. O. Peculiarities of surface water treatment of the federal highway «Kola». *News of higher educational institutions. Construction*, 2016, no. 10-11 (694-695), pp. 49—59. (In Russ.)
10. ODM 218.3.115–2019 Design and calculation of closed-type drainage trays for roads and airfields, Federal Road Agency (Rosavtodor). Moscow, 2021. 180 p. (In Russ.)



11. Shvalov P. G. Problematic factors in the development of high-speed transportation logistics in macro- and mesological systems. *Socio-economic and humanitarian journal*, 2016, no. 4 (4), pp. 133—142. (In Russ.)
12. Kelly M. C., Germain R. H., Bick S. Impacts of Forestry Best Management Practices on Logging Costs and Productivity in the Northeastern USA. *Journal of Forestry*, 2017, no. 6 (115), pp. 503—512. doi: 10.20546/ijcmas.2021.1001.292.
13. Kumar Dh., Thakur C. L., Bhardwaj D. R., Sharma N., Sharma H., Sharma P. Sustainable forest management a global review. *Int. J. Curr. Microbiol.*, 2021, App. Sci. Vol. 10, pp. 2529—2541.
14. Paemelaere Evi A. D., Mejía A., Quintero S., Hallett M., Li F., Wilson A., Barnabas H., Albert A., Li Rh., Baird L., Pereira G., Melville J. The road towards wildlife friendlier infrastructure: Mitigation planning through landscape-level priority settings and species connectivity frameworks. *Environmental Impact Assessment Review*, 2023, vol. 99. 20 p. doi: 10.1016/j.eiar.2022.107010.

© Графова Е. О., Степанов А. В., Сюнёв В. С., Катаров В. К., 2023