

УДК 625.1

Влияние природно-климатических условий на работу железнодорожного транспорта на примере Северной железной дороги

О. В. Быкова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Быкова О. В. Влияние природно-климатических условий на работу железнодорожного транспорта на примере Северной железной дороги // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 2. — С. 120–132. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-120-132

Аннотация

Цель: Изучить воздействие природно-климатических факторов на инфраструктуру железных дорог, проанализировав случаи отказов технических средств на примере подразделений Северной железной дороги (СЖД). На основе полученных данных разработать комплекс мер для повышения надежности объектов железнодорожной инфраструктуры в регионах с суровыми климатическими условиями.

Методы: Проведен анализ отказов в работе технических средств, приведших к задержке поездов, с использованием данных из Комплексной автоматизированной системы учета, контроля устранения отказов и анализа надежности (КАС АНТ). **Результаты:** Выделены основные службы СЖД, ответственные за отказы, приводящие к задержкам поездов. Проведена оценка отказов в работе технических средств с подразделением по регионам Северной железной дороги. Сформирован классификатор отказов по типу объекта отказа, по характеру отказа, по последствиям и по причинам возникновения. Установлена связь между отказами и природно-климатическими факторами. Определены ключевые причины отказов в работе подразделений. **Практическая значимость:** Доказано прямое влияние климатических условий на частоту отказов технических средств железнодорожной инфраструктуры на определенных участках железнодорожного транспорта. Определены приоритетные направления для разработки комплексных мер, направленных на повышение эксплуатационной надежности объектов железнодорожного транспорта в сложных климатических зонах.

Ключевые слова: Транспортная система, природно-климатические условия, отказы в работе технических средств, надежность транспортных систем, классификация отказов.

Транспортная система в России имеет огромное значение для экономики, социальной жизни и геополитической стабильности страны. Транспортная система обеспечивает эффективную логистику для перемещения товаров по стране и за ее пределами. Это особенно важно для таких сырьевых отраслей, как энергетика, сельское хозяйство и добыча полезных ископаемых. Развитие транспортной инфраструктуры привлекает инвестиции, создает рабочие места и способствует развитию смежных отраслей, таких как строительство и производство. Транспортная система обеспечивает доступ к удаленным регионам, улучшая качество жизни населения и способствуя развитию местной экономики. Разнообразные виды транспорта (автомобильный, железнодорожный, авиационный)

обеспечивают мобильность граждан, позволяя им легко перемещаться между городами и регионами. Транспортная система в России является важнейшим элементом, который влияет на экономическое развитие, социальное благополучие и национальную безопасность. Ее эффективное функционирование необходимо для достижения устойчивого роста и повышения конкурентоспособности страны на международной арене [1].

Железнодорожный транспорт имеет огромное значение для экономики и социальной сферы России. Он служит основным способом перевозки грузов, особенно тяжелых и габаритных. По сравнению с автомобильными перевозками железная дорога предлагает более выгодные тарифы на дальние расстояния. Железнодорожная сеть соединяет даже самые отдаленные и труднодоступные регионы, способствуя их экономическому росту и объединению. Это особенно важно для жителей сельских районов, чья работа зависит от надежного транспортного сообщения. Развитие железных дорог требует серьезных вложений в инфраструктуру, что создает рабочие места и стимулирует смежные отрасли. Внедрение современных технологий повышает эффективность и безопасность перевозок. Таким образом, железные дороги в России — это не просто часть транспортной системы, а важный фактор экономического и социального прогресса.

Стабильная и безопасная работа столь сложного многоотраслевого комплекса возможна только при согласованных действиях всех его элементов. Надежность транспорта — одна из ключевых современных проблем, и она касается не только технической стороны. На нее также влияют условия пропуска поездов и закономерности транспортных потоков [2].

Под **отказом** на железнодорожном транспорте понимается выход из строя устройства и неспособность выполнять свои функциональные назначения частично или полностью. Каждый случай отказа в работе технического средства подлежит служебному расследованию подразделениями причастных служб, которые несут ответственность за его техническое содержание, с привлечением (при необходимости) работников других подразделений. Учет возникающих отказов, контроль их устранения и расследование регламентируются распоряжением ОАО «РЖД» № 1375р от 11 июля 2016 г. и осуществляются с использованием Комплексной автоматизированной системы учета, контроля устранения отказов в работе технических средств и анализа их надежности (КАС АНТ). В ходе расследования устанавливаются виновное лицо (подразделение) и причина отказа в работе технического средства.

На железнодорожном транспорте отказы могут возникать в различных системах и элементах инфраструктуры, подвижного состава и управления. Их классифицируют по нескольким критериям [3]. Классификация отказов представлена в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Классификация отказов

По типу объекта отказа		
А. Инфраструктура (путевое хозяйство, устройства СЦБ и др.)	Б. Подвижной состав (локомотивы, вагоны)	В. Системы управления и связи
Дефекты рельсового пути:	Механические отказы:	Сбои в диспетчерской централизации
Изломы рельсов, трещины, износ	Поломки буксовых узлов, колесных пар	Отказы систем связи
Проседание балласта, размывы пути	Трещины в раме, кузове	Ошибки в программном обеспечении
Деформации стрелочных переводов	Неисправности автосцепки	
Отказы устройств СЦБ (сигнализации, централизации, блокировки):	Электрические и электронные отказы:	
Неисправности рельсовых цепей	Выход из строя тяговых двигателей	
Отказы светофоров, датчиков, контроллеров	Отказы систем управления (на современных локомотивах)	
Сбои в системе АЛС (автоблокировки)	Проблемы с аккумуляторами, генераторами	
Повреждения контактной сети (для электрифицированных линий):	Пневматические отказы:	
Обрывы проводов	Утечки в тормозной системе	
Отказы изоляторов	Неисправности компрессоров	
Короткие замыкания		
По характеру отказа	По последствиям	По причинам возникновения
Внезапные (аварийные) — обрыв рельса, отказ тормозов, короткое замыкание	Легкие — не влияют на движение (отказ одного из резервных датчиков)	Конструктивным отказом является отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушениями установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования
Постепенные (износные) — такие как износ рельсов, коррозия металла, старение изоляции	Средние — отказы, требующие снижения скорости или временного ограничения движения	Производственным отказом является отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии
Периодические (планово-предупредительные) — отказы, выявляемые при техническом обслуживании	Критические — отказы, которые приводят к остановке движения, авариям, крушениям	Эксплуатационным отказом является отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации
		Внешний отказ — это отказ, возникший в результате стихийных бедствий, порчи, кражи, вандализма, умышленных или неправильных действий организаций, не входящих в состав ОАО «РЖД», или лиц, не являющихся работниками ОАО «РЖД»
		Деградационным отказом является отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации

В соответствии с поставленными задачами исследования был проведен анализ отказов в работе технических средств за 11 лет по регионам Северной железной дороги (СЖД).

СЖД протянулась из центральной части России на север, проходя через Ярославль и Вологду. В районе Коноши она разветвляется: одна ветка ведет к Архангельску, а другая — к Котласу. От Котласа путь продолжается через всю Республику Коми, заходя за Северный полярный круг. В структуру СЖД входят пять региональных отделений: Ярославское, Вологодское, Архангельское, Сольвычегодское и Сосногорское.

Результаты анализа отказов в работе технических средств по регионам Северной железной дороги представлены на рис. 1.

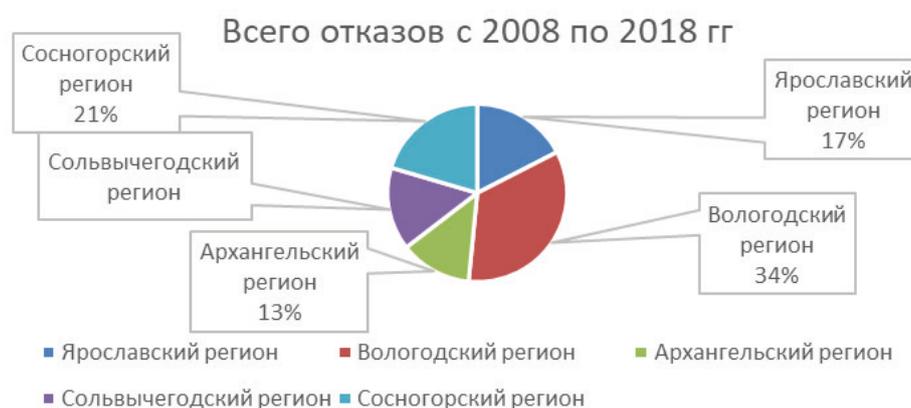


Рис. 1. Диаграмма процентного соотношения отказов в работе технических средств по регионам Северной железной дороги за 11 лет

Как видно из диаграммы, наибольшее количество отказов в работе технических средств приходится на Вологодский и Сосногорский регионы СЖД.

Территория Вологодской и Костромской областей, а также части Ярославской и Кировской областей обслуживается Вологодским территориальным управлением СЖД. Развернутая длина главных путей — около 2 тысяч километров, все они электрифицированы. На станциях Вологодского региона осуществляется около трети всей погрузки СЖД, в основном это черные металлы, минеральные удобрения и стройматериалы. Здесь расположены крупнейшие промышленные предприятия Северо-Запада России — металлургический гигант ПАО «Северсталь» и лидер по производству удобрений АО «Апатит».

Сосногорский регион является самым северным регионом дороги и обслуживает большую часть Республики Коми и небольшую территорию Ямало-Ненецкого автономного округа. Длина путей составляет более 2 тысяч километров, из них около 400 — за Полярным кругом. Железнодорожный транспорт играет ключевую социальную роль в Республике Коми, зачастую оставаясь единственным доступным видом транспорта.

На рис. 2 и 3 показан анализ отказов по Вологодскому и Сосногорскому регионам СЖД в зависимости от причин возникновения отказов.



Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения отказов по причинам их возникновения по Вологодскому региону СЖД

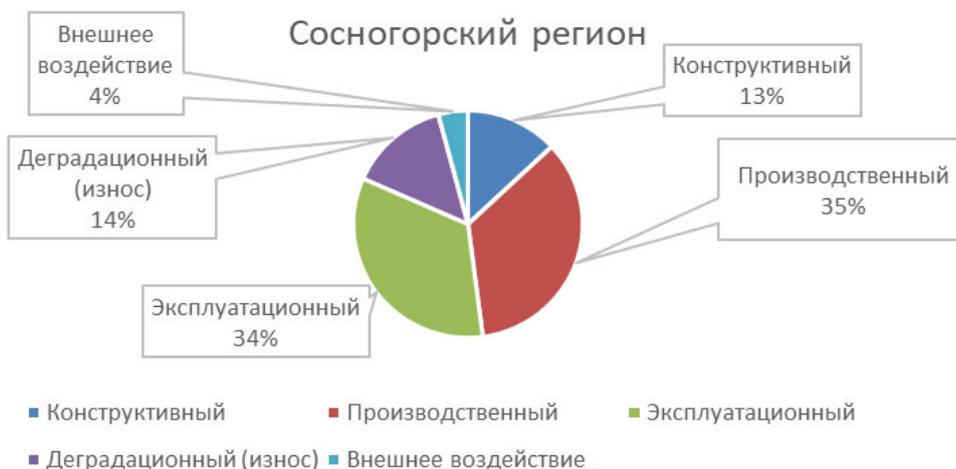


Рис. 3. Диаграмма процентного соотношения отказов по причинам их возникновения по Сосногорскому региону СЖД

На рис. 4 мы видим, что 72 % внешних отказов происходит из-за влияния погодных условий.

Далее проведем анализ внешних отказов по регионам Северной железной дороги (рис. 5)

Как видно из диаграммы, в Сосногорском, Сольвычегодском и Вологодском регионах особо выражено влияние погодных условий, последствием которых являются отказы технических средств.

Рассмотрим более подробно природно-климатические условия данных регионов (табл. 2).

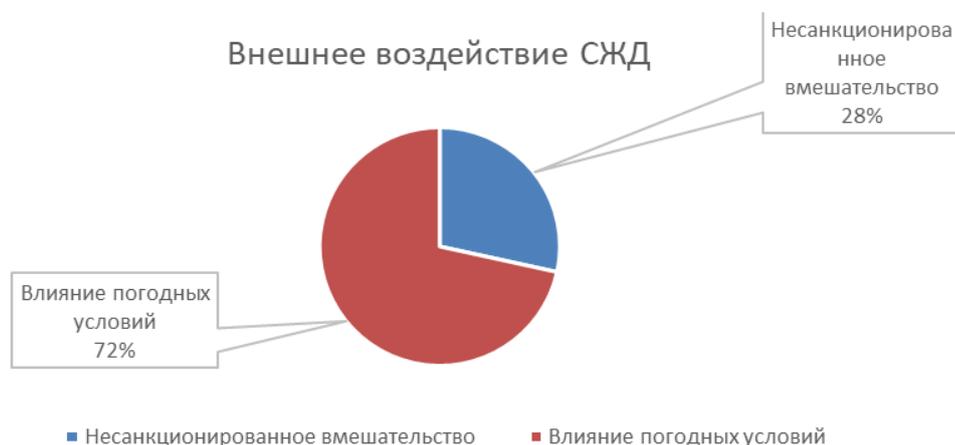


Рис. 4. Диаграмма процентного соотношения внешних отказов по причинам их возникновения на СЖД

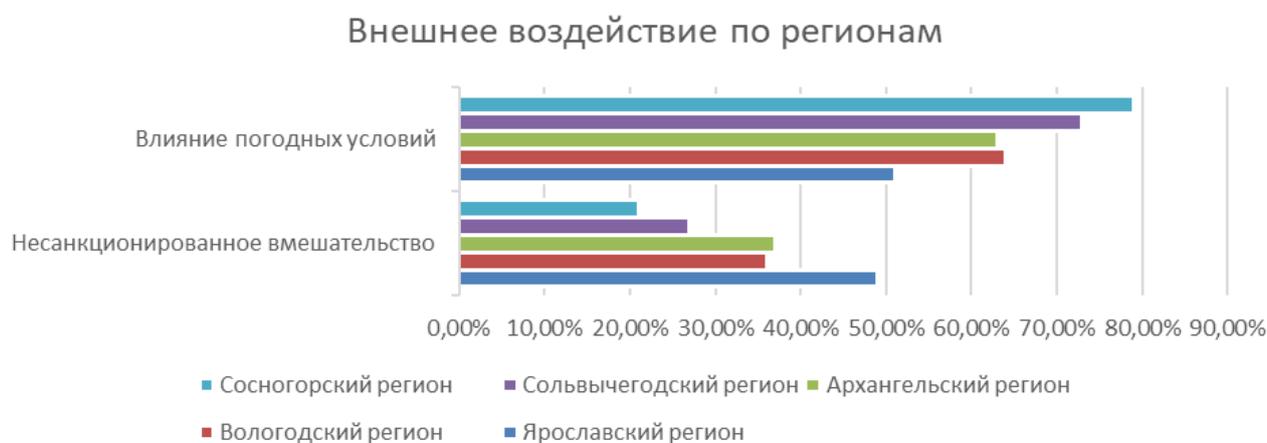


Рис. 5. Диаграмма распределения внешних отказов по причинам их возникновения по регионам СЖД

Основными природными рисками внешнего влияния на возникновение отказов технических средств железнодорожного транспорта в данных регионах являются:

1. Климатические: низкие зимние температуры / экстремально низкие температуры зимой; высокая влажность; короткий период для строительно-ремонтных работ; значительные годовые перепады температур.

2. Геоморфологические: заболоченность территорий; слабые грунты; эрозийные процессы; сложности с устойчивостью земляного полотна; мерзлотные процессы.

3. Гидрологические: весенние паводки; подтопления; размывы насыпей [4].

Далее рассмотрим анализ распределения отказов по причастным службам в данных регионах (рис. 6–8).

ТАБЛИЦА 2. Характеристика природно-климатических условий регионов СЖД

	Вологодский регион	Сосногорский регион	Сольвычегодский регион
Климатические условия	<p>Климат: умеренно-континентальный, с продолжительной зимой и коротким теплым летом.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Среднегодовая температура: +2...+4 °С. • Зимние температуры (январь): -10...-15 °С (минимум до -35...-40 °С). • Летние температуры (июль): +17...+20 °С (максимум до +30...+35 °С). • Продолжительность зимы: 5–6 месяцев (ноябрь — март). • Весна и осень: затяжные, с частыми перепадами температур 	<p>Климат: умеренно-континентальный с переходом к субарктическому (на севере региона), с продолжительной холодной зимой и коротким прохладным летом.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Среднегодовая температура: -2...+1 °С. • Зимние температуры (январь): -18...-22 °С (абсолютный минимум до -50 °С). • Летние температуры (июль): +14...+17 °С (максимум до +30...+33 °С). • Продолжительность зимы: 6–7 месяцев (октябрь — апрель). • Безморозный период: 80–100 дней 	<p>Климат: умеренно-континентальный с продолжительной зимой и коротким теплым летом.</p> <p>Среднегодовая температура: +0,5...+1,5 °С.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Зимние температуры (январь): -14...-18 °С (абс. минимум до -45 °С). • Летние температуры (июль): +16...+18 °С (абс. максимум до +35 °С). • Продолжительность зимы: 5,5–6 месяцев (конец октября — начало апреля) <p>Безморозный период: 90–110 дней</p>
Рельеф местности	<ul style="list-style-type: none"> • Преобладает равнинный рельеф (Восточно-Европейская равнина). • Холмистые участки (север и запад области — Андомская возвышенность, Велсовская возвышенность). • Заболоченные низменности (Молого-Шекнинская низина). • Карстовые формы рельефа (в районах с известняками) 	<p>Расположен на восточной окраине Восточно-Европейской равнины.</p> <p>Северная часть — Печорская низменность (высоты 50–100 м).</p> <p>Южная часть — отроги Тиманского края (до 300–350 м).</p> <p>Характерны заболоченные территории</p> <p>Развиты мерзлотные формы рельефа (бултры пучения, термокарсты)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Расположен в пределах Вычегодской низменности (преобладающие высоты 80–150 м). • Местность слабоволнистая с общим уклоном к северу. • Характерны: <ul style="list-style-type: none"> ○ заболоченные междуречья (до 25–30 % территории); ○ озерно-ледниковые равнины; ○ дюнные всхолмления вдоль речных долин; ○ отдельные возвышенности до 200–250 м (красные образования Тиманского края)
Гидрография	<p>Основные водные объекты:</p> <p>крупные реки: Сухона, Юг, Молога, Шексна, Вологда;</p> <p>озера: Кубенское, Белое, Воже;</p> <p>водохранилища: Рыбинское (на границе с Ярославской обл.)</p>	<p>Основные водные объекты:</p> <p>крупные реки: Печора, Ижма, Ухта, Вой-Вож;</p> <p>притоки: многочисленные малые реки и ручьи;</p> <p>болота: занимают значительные площади;</p> <p>озера: преимущественно пойменные и термокарстовые</p>	<p>Основные водные объекты:</p> <p>главная река: Вычегда (судоходна на большей части протяжения);</p> <p>крупные притоки: Вилель, Яренга, Вымь;</p> <p>озера: преимущественно пойменные и ледникового происхождения</p> <p>болота: низинные и переходные, занимают до 30 % территории</p>
Осадки и снежный покров	<p>Годовое количество осадков: 600–700 мм.</p> <p>Максимум осадков: лето (дожди) и зима (снегопады).</p> <p>Высота снежного покрова (зимой): 40–60 см (в лесах до 70–100 см).</p> <p>Снегозаносимость: высокая, особенно на открытых участках</p>	<p>Годовое количество осадков: 550–650 мм.</p> <p>Максимум осадков: июль — август (дожди) и октябрь — декабрь (снег).</p> <p>Высота снежного покрова: 60–80 см (в лесах до 100–120 см).</p> <p>Продолжительность залегания снега: 180–200 дней</p> <p>Снегозаносимость: очень высокая</p>	<p>Годовое количество осадков: 550–650 мм.</p> <p>Максимум: июль — сентябрь (дожди) и ноябрь — январь (снег).</p> <p>Высота снежного покрова: 50–70 см (в лесах до 90–100 см).</p> <p>Продолжительность залегания снега: 160–180 дней.</p> <p>Снегозаносимость: высокая, особенно на открытых участках</p>

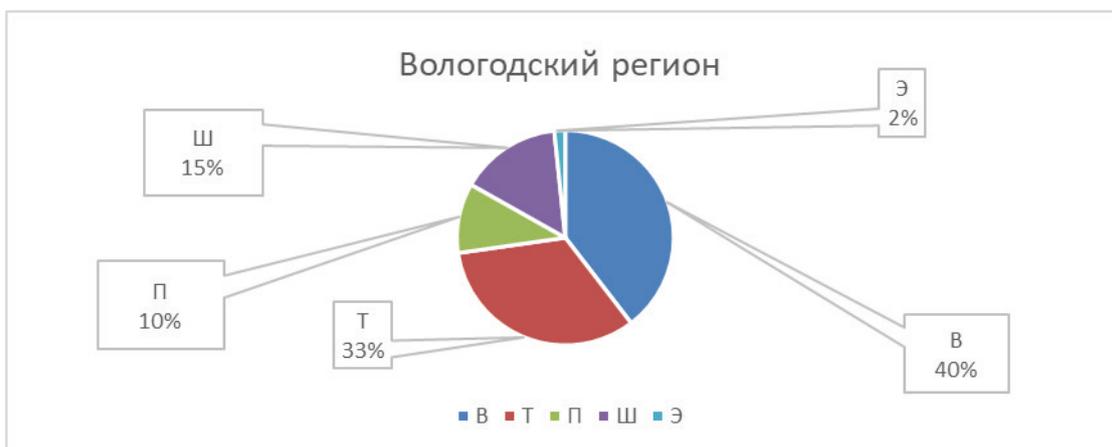


Рис. 6. Диаграмма распределения отказов по причастным службам на Вологодском регионе СЖД

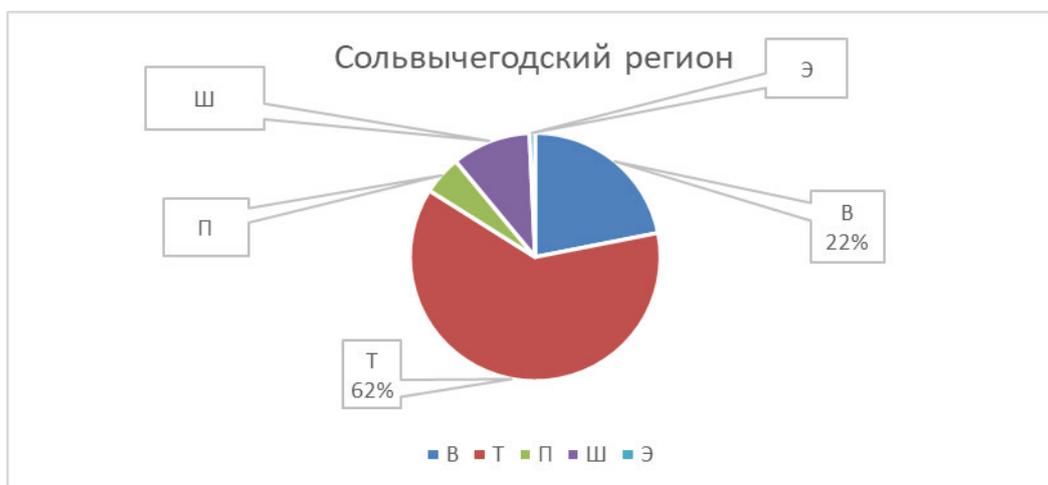


Рис. 7. Диаграмма распределения отказов по причастным службам на Сольвычегодском регионе СЖД

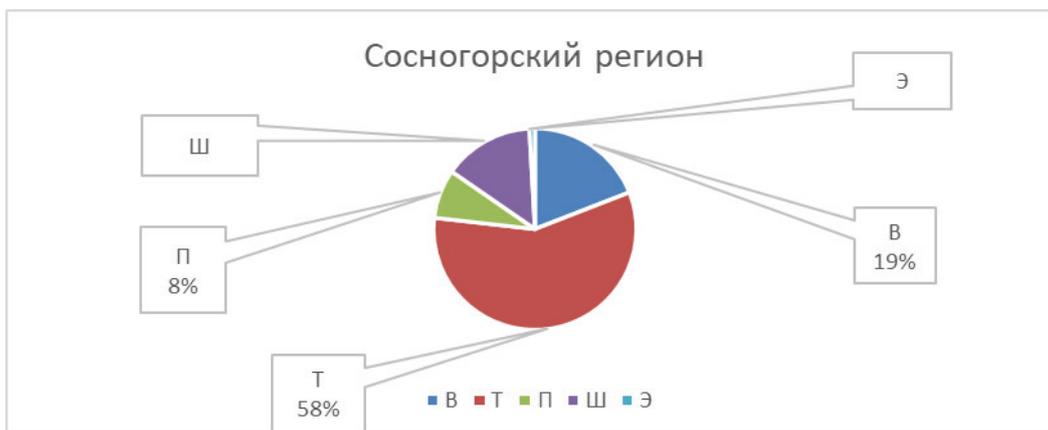


Рис. 8. Диаграмма распределения отказов по причастным службам на Сосногорском регионе СЖД

В табл. 3 приведен анализ наиболее массовых причин отказов по причастным службам.

ТАБЛИЦА 3. Распределение отказов по регионам и причастным службам

№ п/п	Наименование вида отказа	Вологодский регион	Сольвычегодский регион	Сосногорский регион
По вине подразделений службы вагонного хозяйства				
1	Прочая неисправность грузового вагона	43,3 %	24,3 %	19,4 %
2	Неисправность ходовой части грузового вагона	42,5 %	54 %	53,3 %
3	Неисправность тормозного оборудования грузового вагона	10,2 %	13,4 %	12,7 %
По вине подразделений службы локомотивного хозяйства				
4	Неисправность локомотива, дизель-поезда, электропоезда	83,5 %	93,4 %	94,6 %
По вине подразделений службы путевого хозяйства				
5	Неисправность пути и рельсовой колеи	57,8 %	56,3 %	70 %
6	Неисправность рельсовых цепей	7 %	21,5 %	12,8 %
7	Неисправность стрелочного перевода	14,6 %	7,6 %	6 %
8	Дефект и излом рельса	6 %	3,3 %	2,2 %
По вине подразделений службы автоматики и телемеханики				
9	Прочие неисправности устройств СЦБ	78,6 %	66,7 %	73,1 %
10	Неисправность светофора	18,9 %	28,4 %	20,6 %

Исходя из приведенного анализа видно, что наибольшее количество отказов приходится на локомотивное и вагонное хозяйство, от 10 до 15 % отказов происходило по вине службы автоматики и телемеханики, от 5 до 10 % отказов — службы пути, 1–2 % отказов возникало по вине службы электроснабжения.

Повышение надежности железнодорожного транспорта напрямую зависит от модернизации подвижного состава и технической инфраструктуры. Ключевыми факторами устойчивой эксплуатации сети являются: соответствие пропускной способности объему перевозок; сбалансированное развитие железнодорожных направлений; рациональная организация работы узлов, станций и депо [5, 6].

Природно-климатические условия выступают как катализатор или непосредственная причина возникновения нештатных ситуаций, что влечет за собой организационно-технологические отказы на железнодорожном транспорте. Эта взаимосвязь проявляется в нескольких ключевых аспектах: влияние на технологические процессы (нарушение графика движения поездов, изменение параметров технического обслуживания); воздействие на инфраструктуру (корректировка нормативов содержания, специфические повреждения); организационные последствия (изменение логистики; кадровая политика); экономические последствия; адаптационные меры.

Следовательно, природно-климатические условия требуют: дополнительных капиталовложений; специальных технологических решений; гибкой системы управления и постоянной модернизации инфраструктуры.

Планирование мероприятий по повышению эксплуатационной надежности при организации движения поездов в регионах со сложными природно-климатическими условиями требует комплексного подхода, сочетающего технические, организационные и технологические решения [7–9].

В табл. 4 приведены ключевые направления комплексного подхода при планировании данных мероприятий.

ТАБЛИЦА 4. Ключевые направления комплексного подхода планирования мероприятий по повышению эксплуатационной надежности

Направление	Пример мероприятия
Адаптация инфраструктуры	Использование морозостойких материалов (рельсы, стрелочные переводы, контактная сеть)
	Усиление дренажных систем для защиты от паводков и размывов
	Применение автоматизированных систем обогрева стрелок и критических узлов
Оптимизация технологических процессов	Внедрение сезонных регламентов эксплуатации (особые режимы зимой, в паводок и т. д.)
	Разработка гибких графиков движения с учетом погодных рисков
	Усиление контроля за состоянием пути (частый мониторинг с помощью датчиков и диагностических поездов)
Совершенствование управления	Создание региональных кризисных центров для оперативного реагирования на ЧС
	Внедрение предиктивной аналитики (прогнозирование отказов на основе данных о погоде и износе оборудования)
	Автоматизация диспетчерского контроля для минимизации человеческого фактора
Подготовка персонала и ресурсов	Специальное обучение для работы в экстремальных условиях
	Формирование мобильных аварийных бригад с повышенной готовностью
	Создание стратегических запасов (запчасти, реагенты, топливо)
Экономическое обоснование	Учет дополнительных эксплуатационных затрат (зимнее содержание, ремонты после стихийных явлений)
	Инвестиции в устойчивые технологии (например, защищенную контактную сеть, умные системы мониторинга)

Выводы

Повышение надежности в сложных условиях возможно только при системном подходе, включающем: проактивные меры (прогнозирование и профилактика), технологическую модернизацию (устойчивые к климату решения), эффективное управление (оптимизация логистики и ресурсов). Внедрение этих мер позволит снизить количество отказов на 30–50 % и обеспечить бесперебойное движение даже в экстремальных условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Громышова С. С. Эксплуатация устройств многофункционального комплекса технических средств в сложноструктурированных транспортных системах как фактор обеспечения безопасности движения поездов и надежности работы / С. С. Громышова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — Т. 64. — № 4. — С. 167–173. — DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).167-173.
2. Семина А. Ю. Сущность железнодорожных перевозок и их роль в развитии транспортной системы России / А. Ю. Семина // Молодой ученый. — 2018. — № 1(187). — С. 71–73. — URL: <https://moluch.ru/archive/187/47664/>.
3. Семенов Д. О. Повышение эффективности безопасности и надежности на железнодорожном транспорте / Д. О. Семенов // Транспорт. — 2017. — № 3. — С. 102–104.
4. Кокурин И. М. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений / И. М. Кокурин, В. С. Тимченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2013. — Вып. 1(34). — С. 15–22.
5. Баранникова С. А. Метрологическое обеспечение на железнодорожном транспорте / С. А. Баранникова, Е. В. Кононенко // Молодой ученый. — 2016. — № 12.3(116.3). — С. 35–40. — URL: <https://moluch.ru/archive/116/31832/>.
6. Родионов А. В. Вопросы обеспечения надежности и безопасности на транспорте / А. В. Родионов // Молодой ученый. — 2016. — № 22.2(126.2). — С. 50–51. — URL: <https://moluch.ru/archive/126/33713/>.
7. Анисимов В. А. Теория и практика проектирования развития региональной сети железных дорог с учетом изменения облика и мощности станций и узлов: дисс. д-ра техн. наук / В. А. Анисимов. — Хабаровск, 2005. — 380 с.
8. Апатцев В. И. Обеспечение безопасности движения поездов на основе снижения влияния человеческого фактора / В. И. Апатцев, А. М. Завьялов, И. Н. Синякина, Ю. В. Завьялова и др. // Наука и техника транспорта. — М.: МИИТ, 2014. — № 2. — С. 75–78.
9. Копытова Ю. В. Методы повышения пропускной способности дорог / Ю. В. Копытова // Молодой ученый. — 2018. — № 5(191). — С. 196–197. — URL: <https://moluch.ru/archive/191/48174/>.

Дата поступления: 29.04.2025

Решение о публикации: 30.05.2025

Контактная информация:

БЫКОВА Ольга Викторовна — аспирант; bykova@sptgt.ru

The Impact of Natural and Climatic Change on the Railway Transport Operation Focusing on the Severnaya (North) Railway

O. V. Bykova

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Bykova O. V. The Impact of Natural and Climatic Change on the Railway Transport Operation Focusing on the Severnaya (North) Railway. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 2, pp. 120–132. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-120-132

Summary

Purpose: To investigate the impact of natural and climatic factors on railway infrastructure by conducting a thorough analysis of equipment failures that have occurred at various divisions of the Severnaya Railway (SZHD). To develop a set of measures that will enhance the reliability of railway infrastructure facilities in regions characterized by harsh climates utilizing the data obtained. **Methods:** The analysis of failures in the operation of technical facilities that led to train delays was carried out using data from the CAS ANT automated system (A comprehensive automated system for accounting, fault management control and reliability analysis). **Results:** The Severnaya Railway services responsible for failures leading to train delays have been identified. An assessment of failures in the operation of technical facilities at the regional division of the Severnaya Railway has been carried out. The classification of failures is based on four criteria: the nature of the failure, the type of failure, the consequences and the causes of occurrence. The correlation between failures and natural and climatic factors has been demonstrated. Following a thorough investigation, the primary factors contributing to the malfunction of the equipment have been identified. **Practical significance:** The impact of climatic conditions on the failure rate of railway infrastructure facilities at specific railway transport sections has been demonstrated. A number of key areas have been identified as priorities for the development of comprehensive measures aimed at enhancing the operational reliability of railway transport facilities in challenging climatic regions.

Keywords: Transport system, natural and climatic conditions, failures in the operation of facilities, reliability of transport systems, classification of failures.

References

1. Gromyshova S. S. Ekspluatatsiya ustroystv mnogofunktsional'nogo kompleksa tekhnicheskikh sredstv v slozhnostrukturirovannykh transportnykh sistemakh kak faktor obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov i nadezhnosti raboty [Operation of devices of a multifunctional complex of technical means in complex-structured transport systems as a factor in ensuring the safety of train traffic and reliability of operation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. Systems analysis. Modeling]. 2019, vol. 64, Iss. 4, pp. 167–173. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).167-173. (In Russian)
2. Semina A. Yu. Sushchnost' zheleznodorozhnykh perevozok i ikh rol' v razvitii transportnoy sistemy Rossii [The essence of railway transportation and its role in the development of the transport system of Russia]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2018, Iss. 1(187), pp. 71–73. Available at: <https://moluch.ru/archive/187/47664/>. (In Russian)

3. Semenov D. O. Povyshenie effektivnosti bezopasnosti i nadezhnosti na zheleznodorozhnom transporte [Improving the efficiency of safety and reliability in railway transport]. *Transport* [Transport]. 2017, Iss. 3, pp. 102–104. (In Russian)
4. Kokurin I. M., Timchenko V. S. Metody opredeleniya “uzkikh mest”, ogranichivayushchikh propusknyuyu sposobnost’ zheleznodorozhnykh napravleniy [Methods for identifying “bottlenecks” limiting the capacity of railway routes]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2013, Iss. 1(34), pp. 15–22. (In Russian)
5. Barannikova S. A., Kononenko E. V. Metrologicheskoe obespechenie na zheleznodorozhnom transporte [Metrological support in railway transport]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2016, Iss. 12.3(116.3), pp. 35–40. Available at: <https://moluch.ru/archive/116/31832/>. (In Russian)
6. Rodionov A. V. Voprosy obespecheniya nadezhnosti i bezopasnosti na transporte [Issues of ensuring reliability and safety in transport]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2016, Iss. 22.2(126.2), pp. 50–51. Available at: <https://moluch.ru/archive/126/33713/>. (In Russian)
7. Anisimov V. A. *Teoriya i praktika proektirovaniya razvitiya regional’noy seti zheleznykh dorog s uchetom izmeneniya oblika i moshchnosti stantsiy i uzlov: diss. d-ra tekhn. nauk* [Theory and practice of designing the development of a regional railway network taking into account changes in the appearance and capacity of stations and junctions: diss. doctor of technical sciences]. Khabarovsk, 2005, 380 p. (In Russian)
8. Apattsev V. I., Zav’yalov A. M., Sinyakina I. N., Zav’yalova Yu. V. et al. Obespechenie bezopasnosti dvizheniya poezdov na osnove snizheniya vliyaniya chelovecheskogo faktora [Ensuring the safety of train traffic by reducing the influence of the human factor]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and technology of transport]. Moscow: MIIT Publ., 2014, Iss. 2, pp. 75–78. (In Russian)
9. Kopytova Yu. V. Metody povysheniya propusknoy sposobnosti dorog [Methods for increasing road capacity]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2018, Iss. 5(191), pp. 196–197. Available at: <https://moluch.ru/archive/191/48174/>. (In Russian)

Received: April 29, 2025

Accepted: May 30, 2025

Author’s information:

Olga Viktorovna BYKOVA — Postgraduate Student; bykova@sptgt.ru