

УДК 91

## ОЦЕНКА ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ЭЛЕГЕСТ–КЫЗЫЛ–КУРАГИНО

© 2020 г. М. В. Сыромятина<sup>а</sup>, \*, Ю. Н. Курочкин<sup>а</sup>, А. А. Михеева<sup>а</sup>, К. А. Морачевская<sup>а</sup>, М. В. Андреева<sup>а</sup>, К. В. Чистяков<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*e-mail: m.syromyatina@spbu.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 20.04.2020 г.

Принята к публикации 06.06.2020 г.

Представлена комплексная оценка природно-климатических условий района строительства железнодорожной линии Элегест–Кызыл–Курагино, которое является важным социально-экономическим проектом, нацеленным на освоение ресурсов Республики Тыва и повышения уровня ее связности с другими российскими регионами и сопредельными странами. Оценка сложных природно-климатических условий исследуемого района необходима для грамотного строительства и успешной эксплуатации дороги. Рассмотрены такие климатические параметры, как абсолютные максимумы и минимумы температуры воздуха, аномальные суммы осадков и скорость ветра, максимальные мощности снежного покрова, а также геоморфологические явления и процессы. На основе сопоставления и анализа различных картографических и других материалов построена схема районирования зоны строительства по вероятности и интенсивности проявления опасных природных процессов и явлений – климатических аномалий, сейсмичности, лавиноопасности и других склоновых процессов.

*Ключевые слова:* железнодорожное строительство, горный рельеф, Западный Саян, опасные природные явления, районирование, Республика Тыва, юг Красноярского края

DOI: 10.31857/S2587556620050155

### ВВЕДЕНИЕ

Проект строительства железной дороги Кызыл–Курагино появился еще в советское время. В 1980-е годы проектным институтом “Сибгипротранс” были проведены инженерно-геологические изыскания и разработано технико-экономическое обоснование ее строительства. Тогда был предложен наиболее протяженный Кудбайский вариант прохождения трассы (рис. 1). Однако реализация проекта была отложена из-за изменения социально-экономической обстановки и сложных условий изысканий и проектирования. И только в 2007 г. Правительством РФ был одобрен паспорт инвестиционного проекта и принято решение о разработке нового технического проекта. Был выполнен комплекс проектно-изыскательских работ и предложены альтернативные варианты прохождения трассы – Буйбинский и Усовский (см. рис. 1). Последний позволял обойти сложный участок вдоль долины р. Средняя Буйба и Буйбинского озера. Однако работы снова приостановились в 2012 г. из-за финансовых проблем компании-инвестора.

Новая волна развития проекта началась в 2014 г., появился его новый формат – “Строительство железной дороги Элегест–Кызыл–Курагино и угольного портового терминала на Дальнем Востоке в увязке с освоением минерально-сырьевой базы Республики Тыва”.

Через смену институционального статуса и источников финансирования на момент написания статьи остановилась на распоряжении Правительства РФ (2018 г.), утвердившего подписание концессионного соглашения с АО “Тувинская энергетическая промышленная корпорация” (ТЭПК) на принципах государственно-частного партнерства. Предполагается впоследствии доработать проект железной дороги с учетом сквозного железнодорожного пути через Республику Тыва в Монголию и перспективной выхода в Китай. Однако, начало фактического строительства и в последнее время постоянно откладывается, в частности в связи с необходимостью корректировки и устранения недочетов в проектной документации [17, 18, 23].

В литературе и СМИ хорошо освещены вопросы о социально-экономической значимости

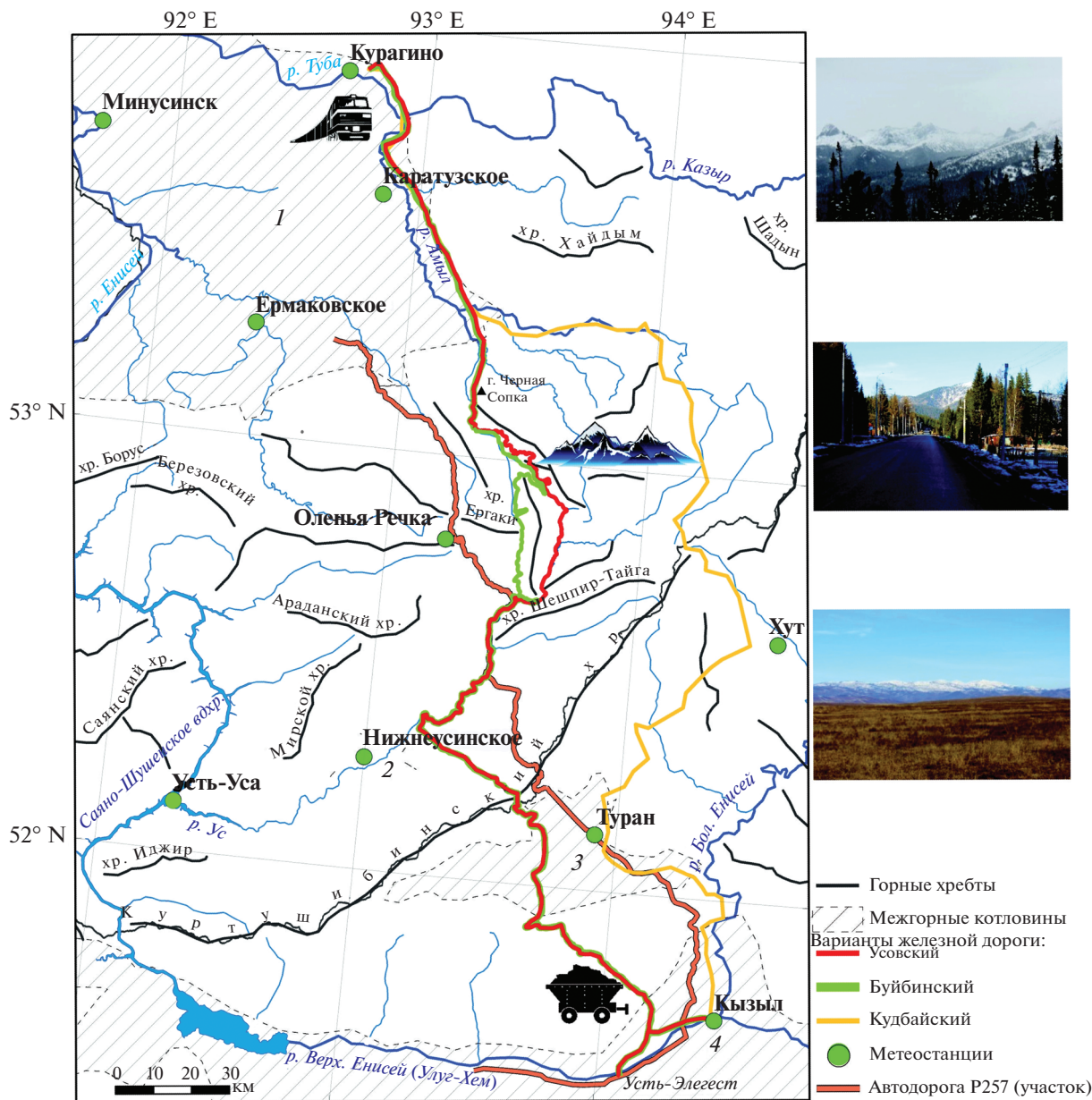


Рис. 1. Район исследования. Цифрами на карте показаны: 1 – Минусинская котловина; 2 – Усинская котловина; 3 – Турано-Уюкская котловина; 4 – Тувинская котловина.

строительства дороги [5, 6, 14, 17, 25 и др.]. Кратко опишем основные социально-экономические эффекты реализации проекта, учитывая в том числе и результаты проведенных нами экспертных интервью (см. раздел Данные и методы). Главный импульс к реализации проекта – возможность более активного вовлечения угольного комплекса республики в промышленную эксплуатацию. Фактором, сдерживающим развитие месторождения, является отсутствие соединения Республики Тыва с железнодорожной сетью страны. Помимо дороги предполагается строительство

горно-обогатительного комбината на Элегестском месторождении Улуг-Хемского угольного бассейна и угольного портового терминала в Хабаровском крае, а также тепловой электростанции в Республике Тыва. В настоящее время главной транспортной артерией республики является участок федеральной автомобильной дороги “Енисей”. Эта трасса связывает регион с Хакасией и Красноярским краем, но имеет сложные условия эксплуатации. Помимо этого, в регионе слабо развито авиационное сообщение, а из автомобильных дорог более 40% не соответствуют нор-

мативным требованиям. На первоначальном этапе пассажирское сообщение по железной дороге, скорее всего, осуществляться не будет, однако может производиться транспортировка товаров народного потребления. Это приведет к повышению рентабельности производимой в регионе продукции и преодолению его транспортной изолированности. Важная роль отводится строительству железной дороги и в межрегиональной интеграционной инициативе “Енисейская Сибирь”. Кроме того, реализация проекта способствует международному сотрудничеству при продолжении железной дороги в Монголию и Китай, что важно для развития связей России и стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

Охранные археологические раскопки в районе планируемого строительства проводились под руководством Института истории материальной культуры РАН при поддержке РГО. Результаты этих работ опубликованы в бюллетенях [11].

Значительно меньше публикаций посвящено оценке природно-климатических условий. В ходе проведения проектно-изыскательских работ была сделана оценка отдельных параметров – таких, как сейсмичность, лавинная опасность и др. [10, 15, 31, 32]. Анализ этих и других работ, а также интервью, проведенных нами в различных учреждениях г. Кызыла и г. Красноярска, показал, что необходимо проведение независимой комплексной оценки природно-климатических условий района проектируемой железной дороги, что и является целью данной работы.

При планировании, строительстве и эксплуатации железных дорог необходим учет многих физико-географических характеристик [21, 26, 28, 29]. Рассмотрение всех характеристик выходит за рамки данной работы, авторами рассмотрены лишь некоторые из них. Кроме того, по отдельным показателям, например, повторяемости и частоте опасных явлений погоды (грозы, туманы, пыльные бури, гололед, изморозь и т.д.), недостаточно данных.

Одной из важных климатических характеристик являются температурные аномалии. Известно, что перегрев рельсов при температурах воздуха выше  $+25^{\circ}\text{C}$  может вызвать их деформацию, а переохлаждение ниже  $-25^{\circ}\text{C}$  – разрыв путей [9]. При установлении температуры ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  вводятся ограничения скоростного режима для грузовых составов до 50–60 км в час [28]. Аномальное количество выпавших осадков может само по себе являться опасным явлением, а кроме того, инициировать появление таких чрезвычайных процессов, как сели, оползни, лавины и др. Обязательно учитывается при строительстве и эксплуатации железных дорог мощность снежного покрова (СП) [21, 28, 29]. А наибольшее внимание должно уделяться проявлению его экстре-

мальных значений, которые при скорости ветра  $\geq 6$  м/с [7], вызывают сильнейшие заносы и сугробы. В районе исследования существует риск схода лавин, и выбор противолавинных сооружений должен производиться с учетом их режима, морфологии лавиносбора и пр. [26, 28, 29]. Существуют нормативные документы, регламентирующие строительные работы и в зонах сейсмоактивности [29, 30], к которой относится и район прохождения планируемой трассы.

## РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Район планируемого строительства дороги находится большей частью в Саянской горной стране и представляет собой чередование высоких горных хребтов, нагорий и межгорных котловин (см. рис. 1). Средние диапазоны высот на Западном Саяне – 1500–2000 м, отдельные участки хребтов поднимаются выше 2000–2500 м, высота дна Минусинской котловины – 200–700 м, Тувинской и Турано-Уюкской котловин – 600–900 м.

Климат – от континентального до резко континентального. Зима морозная, в котловинах мало-снежная, средняя температура января – от  $-28^{\circ}\text{C}$  до  $-35^{\circ}\text{C}$ , зимой преобладает антициклональная погода. Лето умеренно теплое в горах и жаркое в котловинах, средняя температура июля – от  $+15^{\circ}\text{C}$  до  $23^{\circ}\text{C}$ . Осадков выпадает от 180–300 мм в год в котловинах и до 1000–1200 мм в горах. Характерны значительные изменения климатических условий с высотой и в зависимости от ориентации склонов.

Гидрографическая сеть относится к бассейну Енисея. Железную дорогу планируется проводить по долинам таких рек, как Верхний Енисей, Амыл, Ус и др. Водный режим рек характеризуется весенне-летним половодьем. Питание смешанное, в основном с преобладанием снегового.

Значительную часть территории занимают леса. На Западном Саяне до высотных отметок 700–800 м представлены лесостепи, которые сменяются сначала темнохвойной тайгой (пихта, ель, кедр), а потом лиственнично-кедровыми и кедрово-лиственничными лесами. С высотных отметок 1600–1800 м начинаются высокогорные тундры с участками субальпийских и альпийских лугов. В котловинах распространены степи, в Минусинской котловине встречаются также и лесостепные участки [4, 22].

По району исследования проходит южная граница многолетней мерзлоты. Территория относится к островному типу ее распространения. Фрагментарно многолетняя мерзлота распространена выше 1600–1800 м (наивысшая точка прохождения планируемой дороги – около 1400 м).

Трасса пройдет по территории природного парка Ергаки и через систему археологических

памятников, известных под названием “Долина Царей”.

## ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В исследовании использованы сведения, полученные в ходе экспертных интервью с представителями Министерства дорожно-транспортного комплекса Республики Тыва, АО “Тувинская энергетическая промышленная корпорация”, Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Министерства экономики Республики Тыва, Красноярского отделения ОАО “РЖД”, Управления федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю и Республике Тыва. Кроме того, проанализированы публикации местных и региональных СМИ, официальные документы, отчеты и др.

Следует отметить, что при оценке природно-климатических условий взята не линия строительства, а некий условный коридор, так как рассматривались не локальные условия, которые в большей степени являются объектом для инженерных исследований (например, характер грунта), а факторы, характеризующиеся более широким распространением.

Для анализа экстремальных климатических характеристик использовались данные с метеостанций: Минусинск, Курагино, Ермаковское, Каратузское, Кызыл, Туран, Усть-Уса, Нижнеусинское, Оленья Речка и Хут (см. рис. 1). Выбран период наблюдений 2005–2018 гг., для которого по всем станциям имеются доступные данные. В качестве опорных длиннорядных метеостанций приняты Минусинск, Оленья Речка и Кызыл. Источниками метеоданных являлись электронные ресурсы [3, 16, 20]. Принимая во внимание различные критерии выделения опасных явлений [9, 21, 24 и др.], авторами принято решение считать экстремальными дни со средней дневной температурой выше  $+30^{\circ}\text{C}$  и дни со средней суточной температурой ниже  $-35^{\circ}\text{C}$ . Для оценки аномального количества осадков использовались рекомендованные Всемирной метеорологической организацией характеристики экстремальности – такие, как число дней с осадками более 20 мм (индекс R20) и максимум 5-дневных сумм осадков (индекс max5), являющийся индикатором аномального переувлажнения. В связи с тем, что нет четких критериев выделения аномальных мощностей снежного покрова [21, 28, 29], нами рассмотрены максимальные мощности снежного покрова, зафиксированные за период 2005–2018 гг. Нижней границей скорости ветра, при которой уже могут появляться начальные повреждения некоторых сооружений и объектов, определено 15 м/с [9]. В работе учитывались максимальные значения порывов ветра на высоте 10–12 м (FF3)

за период между сроками стандартных наблюдений, как наиболее объективные с точки зрения оценки экстремальных скоростей даже при регистрации краткосрочных порывов (шквалов), не имеющих продолжения в виде устойчивого потока воздуха, но могущих привести к нежелательному воздействию.

На основе сравнения и анализа картографических и других материалов [2, 10, 13, 22, 27, 31] построена производная схема районирования, на которой зона планируемого строительства дороги поделена на шесть участков по ряду показателей, а именно опасным склоновым процессам и сейсмичности, с учетом климатических аномалий, описанных выше. Для удобства при описании использованы названия железнодорожных станций и разъездов по одному из проектов, но следует отметить, что планирование и внесение изменений в направление и расположение пунктов по трассе продолжается и в настоящее время. На разных этапах работ использовались топографические карты масштаба 1 : 100000 и 1 : 500000.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Абсолютные месячные и годовые максимумы и минимумы температуры воздуха.** В таблице 1 приведены абсолютные годовые максимумы и минимумы температуры воздуха, зафиксированные за последние 15 лет на метеостанциях, находящихся вблизи планируемой трассы. Отметим, что эти значения на рассматриваемой территории могут превышать определенные правилами и техникой безопасности пределы.

Важной характеристикой термического воздействия является и количество дней с экстремальными температурами (табл. 2). На основной территории, за исключением среднегорного центрального участка, общее количество дней с аномальными температурами в период 2005–2018 гг. колеблется от 73 до 153 с положительными и от 89 до 245 дней с отрицательными аномалиями. Особо можно выделить южные участки, проходящие по Турано-Уюкской и Тувинской котловинам и имеющие в среднем в год почти одинаковую частоту проявления экстремальных температур обоих знаков с максимальной длительностью отрицательных аномалий до 15 дней. Такое же в среднем количество дней (13 дней) зарегистрировано и в Усинской котловине, что связано с ее расположением в небольшой замкнутой долине, подверженной зимним температурным инверсиям. Северные котловинно-равнинные участки также испытывают влияние температурных экстремумов, но в меньшей степени, хотя их максимальная длительность почти не отличается от более суровых южных участков и также требует учета. С подъемом выше в горы наблюдается значительное сокращение дней с аномальными

**Таблица 1.** Абсолютные максимумы и минимумы температуры воздуха (2005–2018 гг.)

Метеостанция	Абсолютный максимум (°C)	Абсолютный минимум (°C)
Минусинск	<b>39.3 (08.07.2005)</b>	–43.7 (14.02.2009)
Ермаковское	<b>35.4 (08.07.2005)</b>	<b>–46.6 (22.01.2018)</b>
Курагино	<b>36.1 (08.07.2005)</b>	<b>–45.6 (22.01.2018)</b>
Каратузское	36.3 (26.06.2018)	<b>–45.5 (22.01.2018)</b>
Кызыл	<b>39.9 (09.07.2005)</b>	<b>–44.1 (24.01.2018)</b>
Усть-Уса	38.6 (01.08.2008)	–37.8 (03.02.2008)
Нижнеусинское	37.7 (21.07.2007)	–45.6 (24.12.2010)
Туран	<b>38.0 (09.07.2005)</b>	<b>–45.8 (23.01.2018)</b>
Хут	37.0 (01.08.2008)	<b>–46.6 (23.01.2018)</b>
Оленья Речка	<b>33.3 (08.07.2005)</b>	–36.8 (24.01.2011)

**Таблица 2.** Количество дней с аномальными температурами, их среднее годовое значение, максимальная и средняя зарегистрированная длительность (2005–2018 гг.)

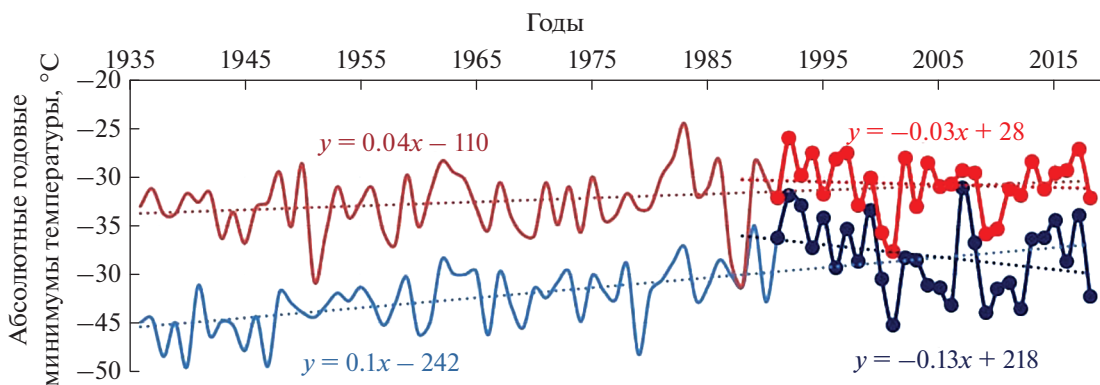
Метеостанция	Градация	Кол-во дней за период наблюдений	Среднее годовое кол-во дней за период наблюдений	Макс. длит-ть (кол-во дней)	Сред. длит-ть (кол-во дней)
Минусинск	≤–35°C	92	6.6	10	4.0
	≥+30°C	76	5.4	9	2.1
Курагино	≤–35°C	96	6.9	9	4.2
	≥+30°C	74	5.3	8	2.3
Каратузское	≤–35°C	89	6.4	11	3.7
	≥+30°C	73	5.2	9	2.2
Оленья Речка	≤–35°C	4	0.3	2	1.0
	≥+30°C	1	0.1	1	1.0
Нижнеусинское	≤–35°C	245	17.5	13	3.5
	≥+30°C	94	6.7	5	1.8
Туран	≤–35°C	171	12.2	11	3.6
	≥+30°C	153	10.9	10	2.3
Кызыл	≤–35°C	209	14.9	15	3.9
	≥+30°C	135	9.6	9	2.4

температурами, что подтверждают данные по метеостанции Оленья Речка.

Для двух опорных метеостанций Минусинск и Оленья речка был оценен временной ход абсолютных годовых минимумов и максимумов температуры за весь период наблюдений с 1936 г. и за период 1990–2018 гг. И если в изменении годовых максимумов тренда не выявлено, то во временном ходе минимумов обнаруживается положительный тренд за весь период наблюдений со значительными коэффициентами тренда (рис. 2). Для Минусинска скорость увеличения значений равна 1.02°C/10 лет, а для Оленьей Речки – 0.40°C/10 лет. Тем не менее, расчет коэффициентов тренда для последних 30 лет показал обратную

картину. Значения отрицательных аномалий понижаются со скоростью –1.3°C/10 лет в районе Минусинска и со скоростью –0.3°C/10 лет у Оленьей Речки. Все перечисленные коэффициенты трендов статистически значимы.

**Аномальные месячные и годовые суммы осадков.** В таблице 3 приводятся экстремальные характеристики осадков, зарегистрированные по данным метеостанций за последние 14 лет. С подъемом в горы от северных и южных котловинных участков максимальная годовая сумма увеличивается почти в 2.5 раза, достигая на метеостанции Оленья Речка 1600 мм с зафиксированной максимальной интенсивностью до 45 мм/12 ч, причем около 40% выпадают в твер-



**Рис. 2.** Временной ход и линейные тренды абсолютных годовых минимумов температуры (метеостанция Минусинск – синяя кривая, метеостанция Оленья Речка – красная кривая).

дом виде в холодное время года, что может привести, например, к снегозаносам. При этом там же, в среднегорье, все виды осадков могут выпадать 258 дней в году.

Расчитанные индексы экстремальности осадков (табл. 4) показывают, что частота проявления дней с осадками более 20 мм весьма неравномерна и колеблется в среднем за год от 0.7 дней на котловинной метеостанции Кызыл до 12.6 дней на среднегорной метеостанции Оленья Речка, на которой зафиксирована и самая тесная взаимосвязь суммарного количества осадков за год с частотой их аномального проявления ( $R = 0.86$ ). Здесь же наблюдался и максимум 5-дневных осадков (93 мм), т.е. почти 20 мм в день. При этом, например, в 2009 г. на Оленьей Речке наблюдался абсолютный максимум 44.9 мм/12 часов (см. табл. 3). В такой ситуации может происходить быстрое насыщение почвенного покрова водой, катастрофический подъем воды в руслах рек, формирование на склонах условий для схода

селей и оползней. В межгорных долинах частота аномальных осадков не так велика, на примере метеостанции Нижнеусинское видно, что средняя повторяемость их не более 3 дней в году. На северных котловинных участках, представленных метеостанциями Курагино и Каратузское, экстремальные осадки  $\geq 20$  мм проявляются со средней частотой 4 дня в год, а теснота взаимосвязи с общим количеством осадков уменьшается до 0.72. На котловинных южных участках наблюдается значительно меньшее число аномальных осадков, хотя с вероятностью 1 раз в 15 лет может наблюдаться 5-дневка с 50–60 мм осадков.

Для оценки особенностей временного хода был проведен анализ изменения индекса R20 на длиннорядной метеостанции Оленья Речка с наибольшим количеством осадков (рис. 3). Выявлен положительный линейный тренд за весь период (коэффициент равен 0.36 случая/10 лет) и за период с 1991 по 2018 г. Последний коэффициент в 4 раза выше, чем у общего, это характеризует

**Таблица 3.** Максимальные показатели осадков за период 2005–2018 гг.

Метеостанция	Максимальная годовая сумма (мм)	Максимальная интенсивность (мм за 12 часов)	Максимальное количество дней с осадками за год
Минусинск	566	38	139
Ермаковское	794	33	212
Курагино	641	46	199
Каратузское	696	43	223
Кызыл	317	33	131
Усть-Уса	467	41	191
Нижнеусинское	466	33	146
Туран	378	44	155
Хут	496	32	140
Оленья Речка	1591	45	258

**Таблица 4.** Общее количество дней с осадками более 20 мм/день (R20), их среднее годовое количество, максимальное значение max5 за период 2005–2018 гг.

Метеостанция	R20 (дни)	Среднее R20 (дни)	max5 (мм)
Минусинск	29	2.1	78
Курагино	54	3.9	80
Каратузское	56	4.0	82
Оленья Речка	177	12.6	93
Нижнеусинское	36	2.5	76
Туран	12	0.9	63
Кызыл	10	0.7	51

процесс увеличения частоты появления аномальных осадков  $\geq 20$  мм/день со скоростью 1.5 случая/10 лет. Оба коэффициента являются статистически значимыми. Количество осадков в холодное время года напрямую связано с другой важной экстремальной характеристикой – максимальной мощностью снежного покрова.

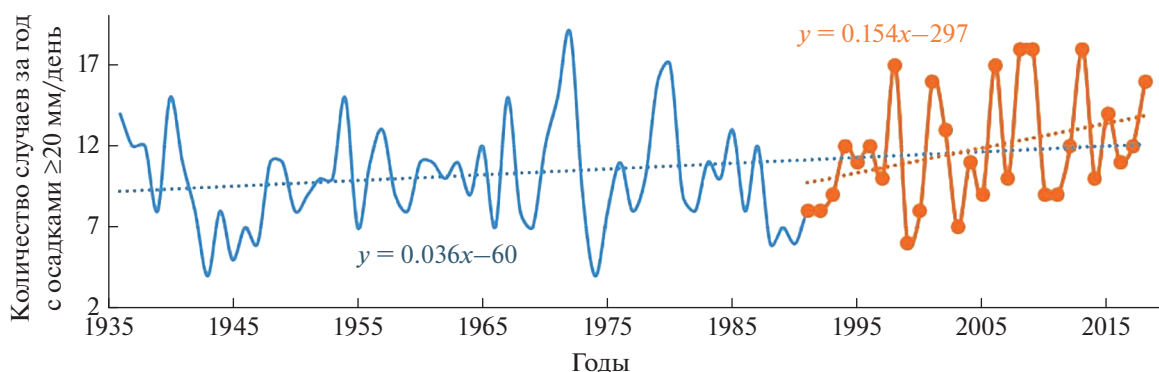
**Максимальные мощности снежного покрова.** В исследуемом районе на котловинно-равнинных участках максимальные мощности снега колеблются в пределах 40–75 см, тогда как в среднегорных районах СП даже без переложения может достигать почти 2 м, что требует больших усилий по уборке снега (табл. 5).

Средние сезонные мощности СП изменяются в пределах 15–34 см, за исключением максимума в Оленьей Речке и минимума в Минусинске. Однако, учитывая, что максимальные мощности СП приблизительно в 2 раза больше средних, это может представлять серьезную проблему. Так, на среднегорных отрезках трассы можно ожидать аномального количества снега от 1 до 2 м толщиной. Раннее появление снега в горах, в некоторых случаях даже в конце лета – начале осени и поздний сход в середине весны является дополнитель-

ным фактором, который следует учитывать. В отдельных случаях мощные снегопады могут проявляться и в поздние сроки, как, например, на Оленьей Речке 7 мая 2006 г.

С целью выявления изменений во времени аномальных мощностей СП был проведен анализ временного хода его максимальных значений на самой заносимой метеостанции Оленья Речка (рис. 4). Коэффициент тренда в уравнении линейной аппроксимации за период 1931–2018 гг. статистической значимости не имеет. Кривая сглаженного 11-летнего осреднения указывает на наличие цикличности приблизительно с периодом 40–42 г. Это значит, что уменьшение и увеличение экстремальных мощностей СП, возможно, происходят с некоторой периодичностью.

**Максимальные скорости ветра.** Из особенностей пространственно-временного распределения максимальных скоростей ветра следует отметить почти повсеместное распространение вероятности появления не менее 1 раза в 15 лет ветра со скоростью  $\geq 25$  м/с и в среднем 6 раз в 15 лет ветра со скоростью  $\geq 15$  м/с (табл. 6). При этом практически все случаи регистрации FF3 приходятся на зимние месяцы, а это значит, что при

**Рис. 3.** Временной ход и линейные тренды количества случаев за год с осадками  $\geq 20$  мм/день на метеостанции Оленья Речка за период 1936–2018 гг.

**Таблица 5.** Средние сезонные и экстремальные мощности снежного покрова за период 2005–2018 гг.

Метеостанция	Средняя мощность, см	Макс. за период, см
Минусинск	8	41 (12.02.2006)
Ермаковское	31	64 (19.03.2013)
Курагино	30	75 (23.02.2009)
Каратузское	34	72 (15.12.2009)
Кызыл	20	36 (12.02.2013)
Усть-Уса	15	40 (05.02.2007)
Нижнеусинское	31	73 (08.12.2010)
Туран	27	52 (11.02.2016)
Хут	33	38 (14.02.2013)
Оленья Речка	78	197 (07.05.2006)

значительном снегонакоплении следует ожидать максимального проявления метелевых процессов, снегозаносов у объектов железной дороги. Анализ показал, что совместное появление максимальных мощностей СП и максимальной скорости ветра чаще всего наблюдается в северных районах и в центральной среднегорной части.

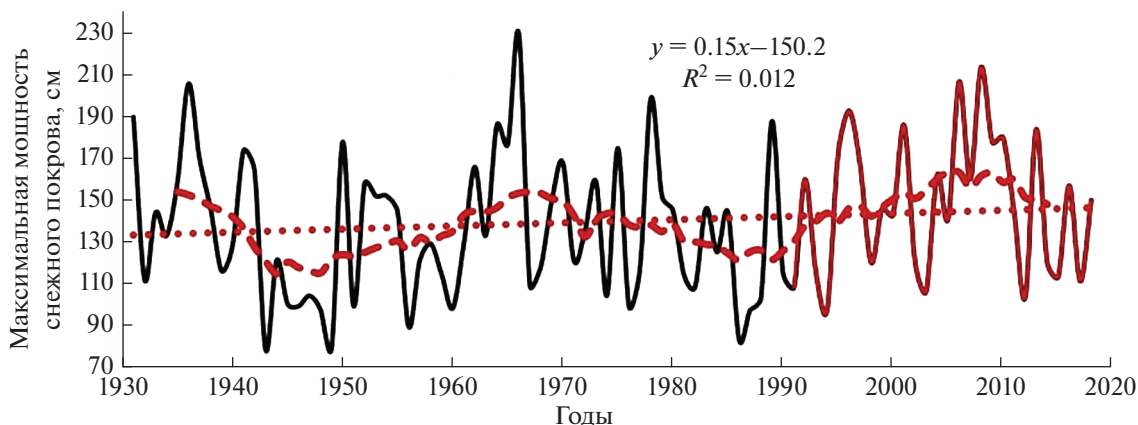
**Сейсмичность, опасные склоновые процессы.** Зона планируемого строительства железной дороги относится к зоне сейсмической опасности и располагается в Алтае-Саянской сейсмической области. Прямым подтверждением сейсмоопасности района являются крупные землетрясения 2011–2012 гг. на территории Республики Тыва со средней магнитудой равной 6,6, после которых были зарегистрированы и повторные толчки [8]. Косвенно сейсмоактивность зоны строительства

подтверждают и исследования разломно-блоковых явлений [19]. Наименьшей сейсмичностью обладают центральные части Минусинской впадины – здесь имеются лишь локальные скопления эпицентров землетрясений.

На карте общего сейсмического районирования России (ОСР-2016-А) практически весь район строительства дороги расположен в зоне интенсивности сотрясений в 7 баллов, а южный участок в Тувинской и Турано-Уюкской котловинах – в зоне в 8 баллов. Это означает, что вероятность превышения данной расчетной интенсивности (на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64) в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 10%, что соответствует среднему периоду  $T = 500$  лет повторяемости таких сотрясений. При проектировании строительства железной дороги выполнен комплекс работ по уточнению исходной сейсмичности вдоль трассы на основе вероятностных карт ОСР-97 [15, 31].

К нелавинноопасным районам прохождения трассы, а также районам с очень низкой лавинной активностью можно отнести участки дороги в Тувинской, Турано-Уюкской и Усинской котловинах, склоны Куртушибинского хребта и один из участков долины р. Ус, а также участки дороги в Минусинской котловине и на северных предгорьях Западного Саяна до станции Черная Сопка.

Лавиноопасные районы приурочены к наибольшим абсолютным высотам и амплитудам в рельефе. Это хребты Шешлир-Тайга, Ергаки, Метугул-Тайга, Араданский и другие, а также склоны Уюкского хребта. По одному из проектов здесь запланировано две станции и десять развязок. Суммарные объемы лавин за зиму могут достигать здесь более 100000 м<sup>3</sup>. При более детальном анализе и расчетах, выполненных несколько лет назад сотрудниками ЗАО “Востсибтранспроект” и Института географии СО РАН, для данно-

**Рис. 4.** Временной ход максимальных мощностей снежного покрова на метеостанции Оленья Речка (кривая 11-летнего сглаживания – прерывистая линия, прямая линейной аппроксимации – точечная линия).



**Таблица 6.** Максимальная скорость ветра, зарегистрированная в период 2005–2018 гг., его направление и средняя частота случаев со скоростью  $\geq 15$  м/с

Метеостанция	Максимальная скорость ветра, м/с	Направление ветра в момент регистрации, румб	Среднее количество случаев с $FF3 \geq 15$ м/с в год
Минусинск	29	СВ	4
Ермаковское	28	ЗЮЗ	5
Курагино	26	ЮЗ	4
Каратузское	23	ЮЗ	3
Кызыл	25	СВ	4
Усть-Уса	28	В	6
Нижнеусинское	29	СЗ	8
Туран	27	СЗ	7
Хут	26	СЗ	9
Оленья Речка	21	СВ	6

го лавиноопасного участка [10] выделено более 130 лавиносборов уже непосредственно по линиям трассы. Особо опасные участки трассы располагаются по долинам рек Большой и Малый Тайгиш – здесь сход лавин может происходить ежегодно, более 5 лавин на 1 пог. км дна долины, объемом более 100 тыс. м<sup>3</sup>, а наиболее лавиноопасным является Буйбинский вариант прохождения трассы.

Что касается современных экзогенных склоновых процессов, то для исследуемого района характерно развитие широкого их комплекса: эрозионных, гравитационных (осыпи, обвалы, оползни), криогенных (курумообразование, солифлюкция) и карстовых процессов. Территория, на которой будет проложена железная дорога, в наибольшей степени подвержена эрозионно-денудационным процессам, которые на участках с более расчлененным рельефом проявляются в сочетании с гравитационными процессами. При условии уничтожения древесной растительности на склонах гор существует потенциальная опасность развития селевых процессов [1]. Антропогенное воздействие на рельеф, особенно в горной местности, может привести к активизации опасных геоморфологических процессов. Известны случаи разрушения дорожных покрытий в связи с развитием плоскостной эрозии и гравитационно-эрозионных процессов в Республике Тыва и на юге Красноярского края [12]. Не все из этих процессов могут быть оценены на стадии проектно-изыскательских работ [32].

**Схема районирования.** Учитывая основные опасные природные явления, зону планируемого строительства железной дороги Элегест–Кызыл–Курагино можно условно разделить на шесть

участков, которые в основном приурочены к различным типам рельефа (рис. 5).

*Район 1.* Межгорные котловины (Тувинская, Турано-Уюкская, Усинская) и низкогорно-предгорные участки. Для района характерны: наибольшее общее количество дней с экстремальными климатическими явлениями, преобладание температурных аномалий обоих знаков и значительное количество дней с аномальными скоростями ветра; нелавиноопасный район, отдельные участки с очень низкой лавинной активностью; наиболее сейсмоопасный участок, вероятность превышения сотрясений интенсивностью 8.0–8.4 баллов в течение 50 лет составляет 10%; на отдельных участках существует потенциальная опасность селевой активности при антропогенном воздействии.

*Район 2.* Уюкский хребет: средняя степень лавинной опасности, повторяемость лавин от 1 до 10 за 10 лет; наиболее сейсмоопасный участок, вероятность превышения сотрясений интенсивностью 8.0–8.4 баллов в течение 50 лет составляет 10%; существует потенциальная опасность селевой активности при антропогенном воздействии; для описания климатических аномалий недостаточно данных.

*Район 3.* Юго-восточные отроги системы Западного Саяна: низкая степень лавиноопасности, однако, отдельные участки, примыкающие к району 4 (станция Арадан), характеризуются средней лавинной опасностью и повторяемостью лавин от 1 до 10 за 10 лет; сейсмичность высокая, вероятность превышения сотрясений интенсивностью 7–8 баллов в течение 50 лет составляет 10%; характерно развитие опасных склоновых процессов – курумов, обвалов, осыпей и др.; существует

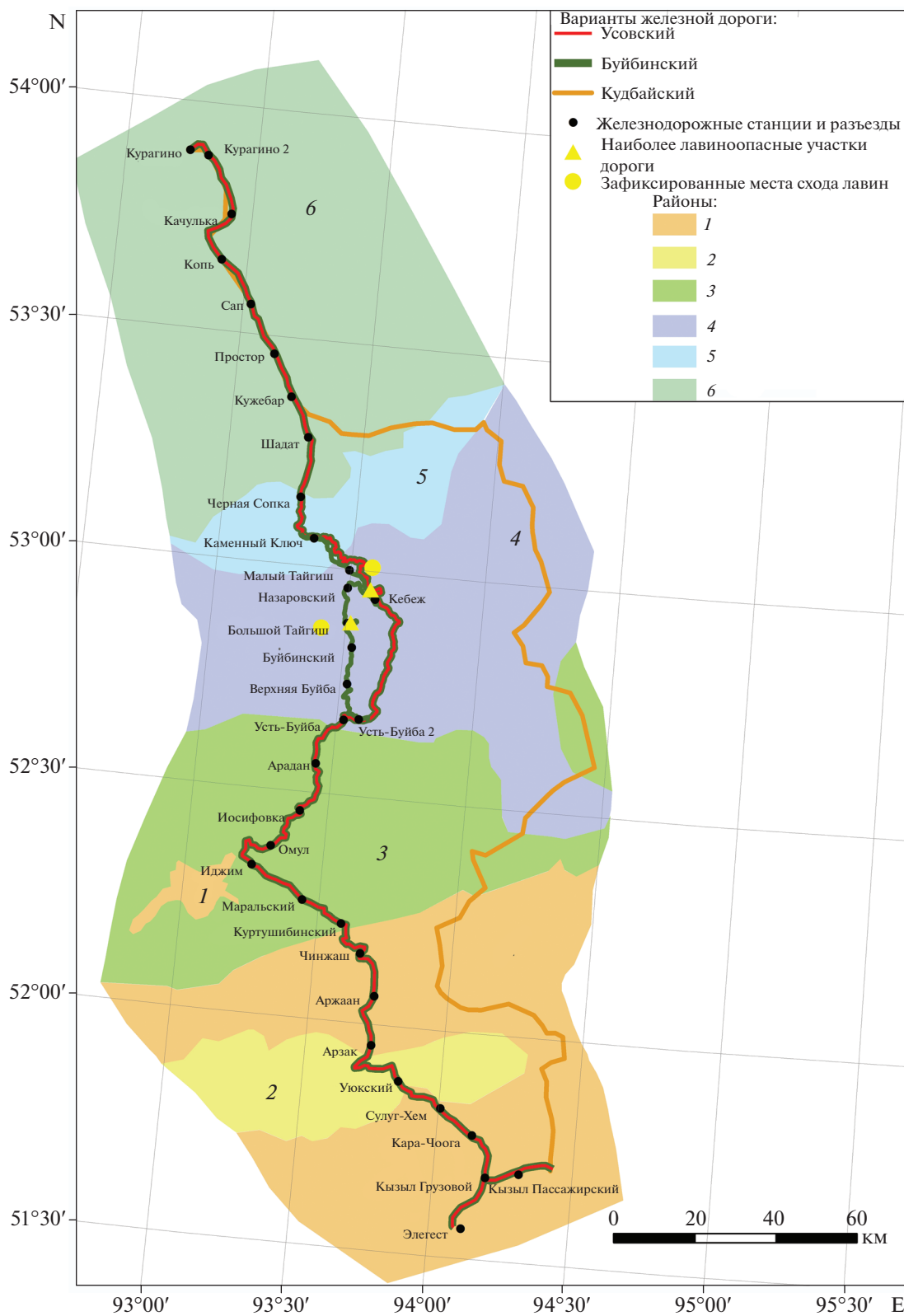


Рис. 5. Схема комплексного районирования зоны предполагаемого строительства железной дороги Элегест–Кызыл–Курагино.

потенциальная опасность селей активности при антропогенном воздействии; для описания климатических аномалий недостаточно данных.

*Район 4.* Центральный среднегорный участок, наиболее сложный и разнообразный по природным условиям: совместное большое количество дней с экстремальными осадками и аномальными скоростями ветра, но при этом отсутствуют температурные аномалии; почти повсеместно отмечается высокая степень лавиноопасности, повторяемость схода лавин более 10 за 10 лет; характерно развитие опасных склоновых процессов — курумов, обвалов, осыпей и др.; существует потенциальная опасность селей активности при антропогенном воздействии; сейсмичность высокая, вероятность превышения сотрясений интенсивностью 7–8 баллов в течение 50 лет составляет 10%.

*Район 5.* Северные отроги Западного Саяна: средняя лавинная опасность, возможная повторяемость лавин от 1 до 10 за 10 лет; сейсмичность высокая, вероятность превышения сотрясений интенсивностью 7–8 баллов в течение 50 лет составляет 10%; станция Черная Сопка попадает на участок с потенциальной селей активностью, станция Каменный Ключ — на участок с опасными склоновыми процессами (курумы, обвалы, солифлюкция, осыпи); для описания климатических аномалий недостаточно данных.

*Район 6.* Восточная часть Минусинской котловины и предгорья Восточного и Западного Саяна: преобладают термические аномалии, хотя общее количество дней с экстремальными климатическими характеристиками меньше, чем в районе 1; большое количество дней с экстремальными осадками и аномальными скоростями ветра; территория нелавиноопасна, отдельные участки в предгорьях с очень низкой лавинной активностью; сейсмическая активность несколько ниже, чем в других районах. Вероятность превышения сотрясений интенсивностью 6.5–7.5 баллов в течение 50 лет составляет 10%; участок в целом не селеопасен, за исключением планируемого разезда Шадат, где отмечается потенциальная селей активность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ природно-климатических условий района строительства железной дороги Элегест–Кызыл–Курагино показал, что большая часть его территории подвержена влиянию различных опасных природных явлений и процессов, которые необходимо учитывать. На межгорно-котловинных и низкогорно-предгорных участках предполагаемой трассы зафиксированы термические аномалии, когда абсолютные годовые максимумы и минимумы температуры воздуха превышают

определенные правилами и техникой безопасности пределы. В динамике экстремумов отрицательных температур выявлена тенденция к их усилению за последние 30 лет, а значит, в ближайшие 10–15 лет при сохранении таких тенденций можно предполагать увеличение абсолютных значений низких температур на данных участках до  $-48^{\circ}\text{C}$  с обеспеченностью в 5%, с одновременным увеличением максимальной длительности их проявления до 15 дней с обеспеченностью 1%.

Режим аномальных осадков требует особого внимания на центральных среднегорных участках. Здесь выявлена тенденция к увеличению частоты проявления случаев с количеством осадков  $\geq 20$  мм/день до 18 случаев в год с обеспеченностью 5%. Причем около 40% осадков выпадают в твердом виде в холодное время года. Здесь могут наблюдаться экстремальные снеговые нагрузки с мощностью снежного покрова до 200 см с обеспеченностью 5%.

На среднегорных и практически на всех межгорно-котловинных и предгорных участках трассы необходимо учитывать сочетание ветрового режима и мощности снежного покрова, при экстремальных проявлениях которых возможно повышенное снегоотложение, вызванное метельным переносом. Сильные метели с твердыми осадками  $\geq 20$  мм/день и скоростями ветра более 15 м/с наблюдаются с частотой в среднем до 12 случаев в холодное время года на среднегорных участках и до 8 случаев — на остальных участках с обеспеченностью 1%.

Трасса проходит через сейсмоопасные и опасные с точки зрения возникновения склоновых процессов участки. На всех участках трассы должна учитываться сейсмическая активность. На центральном среднегорном участке и примыкающих к нему с севера и юга отрогах почти повсеместно отмечается средняя и высокая степень лавиноопасности с повторяемостью схода лавин от 1 до 10 и более 10 за 10 лет, соответственно; вероятно также развитие курумов, обвалов и осыпей.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Русского географического общества, проект № 19/2018/РГО-РФФИ “Комплексная оценка природно-климатических условий и ресурсных возможностей создания транспортной системы на территории Красноярского края и Южной Сибири”.

## FUNDING

The study was carried out with the financial support of the Russian Geographical Society, project no.19/2018/RGO-RFBR “Comprehensive Assessment of the Natural-Climatic Conditions and Resource Potential of

Creating a Transport System in the Krasnoyarsk Krai and South Siberia”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация Сибирский федеральный округ. М.: ИПЦ Дизайн. Информация. Картография, 2009. 382 с.
2. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Под ред. В.М. Котлякова. М.: Российская академия наук, 1997. 392 с.
3. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). <http://meteo.ru/> (дата обращения 06.02.2019).
4. *Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И.* Физическая география СССР. Азиатская часть. М.: Мысль, 1970. 543 с.
5. *Дабиев Д.Ф.* Экономическая оценка проекта строительства международной железной дороги Кызыл–Урумчи // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 8. С. 320–326.
6. *Дабиев Д.Ф., Лебедев В.И.* Экономическая оценка возможностей и перспектив развития южного макрорайона Республики Тува // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. М.: ООО Издательский дом “Наука”, 2012. № 11. С. 106–111.
7. *Дюнин А.К.* Экологическое проектирование железных дорог в сложных природных условиях. Ч. 1. Новосибирск: Сибирский гос. ун-т путей сообщения, 2003. 184 с.
8. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г.* Тувинские землетрясения 27.12.2011 г. с  $M = 6.6$  и 26.02.2012 г. с  $M = 6.7$  / *Землетрясения России в 2011 г.* Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 88–93.
9. *Зябриков В.А., Кобышева Н.В., Циркунов В.С.* Климат и железнодорожный транспорт. М.: Метео-агентство Росгидромета, 2000. 185 с.
10. *Иванов Е.И., Иванов И.А.* Лавинная опасность участков новой железнодорожной линии Элегест–Кызыл–Курагино // *Безопасность регионов – основа устойчивого развития: Материалы четвертой международной науч.-практ. конф.* (Иркутск, 22–26 сентября 2014). Иркутск: Изд. Иркутск, ИрГУПС, 2014. С. 321–326.
11. Институт истории материальной культуры РАН. <http://www.archeo.ru> (дата обращения 10.10.2019).
12. Информационная сводка о проявлениях экзогенных процессов на территории РФ за II квартал 2015 г. М.: ФГУПП “Гидроспещгеология”, 2015. 58 с.
13. Карта современных геологических процессов и условий их развития на территории СССР. Масштаб 1 : 7 500 000 / Атлас гидрогеологических и инженерно-гидрогеологических карт СССР. 1983.
14. *Лебедев В.И., Дабиев Д.Ф.* Возможности и перспективы строительства тувинско-монгольской магистрали // *Экономический анализ: теория и практика*. М.: ООО “Издательский дом Финансы и кредит”, 2014. № 26 (377). С. 39–46.
15. *Перетокин С.А., Симонов К.В.* Уточнение исходной сейсмичности на примере трассы железной дороги “Кызыл–Курагино” // *Проблемы мониторинга окружающей среды: Сб. трудов XI всерос. конф. с участием иностранных ученых (ЕМ-2011)*. (Кемерово, 24–28 октября 2011). Кемерово: КемГУ, 2011. С. 221–227.
16. Погода и климат. <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (дата обращения 05.02.2019).
17. *Подвербный В.А., Курочкин В.А., Благоразумов И.В., Филатов Е.В.* Проблемы и перспективы развития линии Кызыл–Курагино // *Безопасность регионов – основа устойчивого развития: Материалы четвертой международной науч.-практ. конф.* (Иркутск, 22–26 сентября 2014). Иркутск: Изд-во Иркутск, ИрГУПС, 2014. С. 305–321.
18. Проектная документация на ж/д Курагино–Кызыл требует корректировки, но начать строить можно – Минстрой РФ (19 октября 2018). Минтранс России. <https://www.mintrans.ru/press-center/branch-news/832> (дата обращения 15.03.2019).
19. *Прудников С.Г., Аюнова О.Д., Чуликова С.А.* Корреляция разломно-блоковых морфоструктур и сейсмического процесса территории Тувы и Западного Саяна // *Сейсмическая безопасность региона и воздействие сейсмологических и социально-экономических факторов на его развитие: Материалы Всерос. науч.-практ. конф.* (Кызыл, 17–18 ноября 2015). Кызыл: РИО ТувГУ, 2015. С. 68–71.
20. Расписание погоды. <https://rp5.ru/> (дата обращения 08.02.2019).
21. Региональный климатический электронный справочник для обслуживания транспортной отрасли экономики по субъектам РФ: Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край и республика Алтай / *Отчет о научно-исследовательской работе*. Новосибирск: ФГБУ “СибНИГМИ”, 2013. 74 с.
22. Ресурсы поверхностных вод. Ангаро-Енисейский бассейн. Т. 16. Вып. 1. Енисей / Под ред. А.П. Муранова. Л.: Гидрометиздат, 1973. 723 с.
23. РЖД загнали Байсарова в тупик (7 февраля 2019). *Метагазета*. <https://metagazeta.ru/business/tzhd-zagnali-bajсарова-v-tupik/> (дата обращения 15.03.2019).
24. Руководящий документ РД 52.04.563–2002. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и подачи штормового сообщения. СПб.: Гидрометеоздат, 2002. 28 с.
25. *Севек В.К., Донгак Б.А., Донгак Ч.Г., Манчык-Сат Ч.С., Севек Р.М., Оюн Ш.В.* Влияние транспортной инфраструктуры на экономическое развитие приграничного региона (на примере Республики Тыва) // *Экономика и предпринимательство*. 2018. № 11 (100). С. 571–575.
26. Свод правил СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения

- ния. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. М.: Минрегион России, 2012. 59 с.
27. Свод правил: СП 115.13330.2016 Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. М.: Стандартинформ, 2016. 40 с.
28. Свод правил: СП 119.13330.2012 Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95. М.: Минрегион России, 2017. 41 с.
29. Свод правил: СП 242.1325800.2017 Защита железнодорожного пути и сооружений от неблагоприятных природных явлений. Правила проектирования и строительства. М.: Минстрой, 2017. 103 с.
30. Свод правил: СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81. М.: Стандартинформ, 2018. 117 с.
31. Уломов В.И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // Инженерные изыскания. М.: ООО "Геомаркетинг", 2009. № 9. С. 28–39.
32. Шорников С., Ивашкова М. Проектирование мостов железнодорожной линии Кызыл–Курагино // Институт Гипростроймост. 2010. № 4. С. 39–45.

## Assessment of Natural and Climatic Conditions of the Elegest–Kyzyl–Kuragino Railway Construction Area

M. V. Syromyatina<sup>1,\*</sup>, Yu. N. Kurochkin<sup>1</sup>, A. A. Mikheeva<sup>1</sup>, K. A. Morachevskaya<sup>1</sup>,  
M. V. Andreeva<sup>1</sup>, and K. V. Chistyakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

\*e-mail: m.syromyatina@spbu.ru

An integral assessment of natural and climatic conditions of important national economic project—construction of Elegest–Kyzyl–Kuragino Railway—aimed to development the resources of Tuva Republic and increase its level of connectivity with other Russian regions and neighboring countries is presented. Assessment of difficult natural and climatic conditions is required for competent construction and successful operation of the railway in the future. Climatic parameters such as absolute maximum and minimum air temperature, anomalies of precipitation amount and wind speed, maximum snow depth, as well as geomorphological phenomena and processes are considered. Based on the comparison and analysis of various cartographic and other materials, construction area zoning according to probability and intensity of dangerous natural processes and phenomena—climatic anomalies, seismicity, avalanche hazard, and some other slope processes—was carried out.

**Keywords:** railway construction, mountainous relief, Western Sayan, natural hazards, zoning, Tyva Republic, south of the Krasnoyarsk krai

### REFERENCES

1. *Atlas prirodnikh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezychnykh situatsii. Rossiiskaya Federatsiya Sibirskii federal'nyi okrug* [Atlas of Natural and Man-made Hazards and Risks of Emergency Situations. Russian Federation Siberian Federal District]. Moscow: IPTs Dizain. Informatsiya. Kartografiya Publ., 2009. 382 p.
2. *Atlas snezhno-ledovykh resursov mira* [Atlas of Snow and Ice Resources of the World]. Kotlyakov V.M., Ed. Moscow: Ross. Akad. Nauk, 1997. 392 p.
3. All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (VNIIGMI-MTsD). Available at: <http://meteo.ru/> (accessed: 08.02.2019). (In Russ.).
4. Gvozdet'skii N.A., Mikhailov N.I. *Fizicheskaya geografiya SSSR. Aziatskaya chast'* [Physical Geography of the USSR. Asian Part]. Moscow: Mysl' Publ., 1970. 543 p.
5. Dabiev D.F. Economic evaluation of the construction project of the international railway Kyzyl–Urumchi. *Fundamental'nye Issled.*, 2016, no. 8, pp. 320–326. (In Russ.).
6. Dabiev D.F., Lebedev V.I. Economic assessment of opportunities and prospects for the development of the southern macro-district of the Republic of Tuva. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitiye)*, 2012, no. 11, pp. 106–111. (In Russ.).
7. Dunin A.K. *Ekologicheskoe proektirovanie zheleznykh dorog v slozhnykh prirodnikh usloviyakh. Chast' 1* [Environmental Design of Railways in Difficult Environmental Conditions. Part 1]. Novosibirsk: Sibir. Gos. Univ. Putei Soobshcheniya, 2003, 184 p.
8. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V., Podkorytova V.G. Tuva earthquakes of December 27, 2011 with M = 6.6 and February 26, 2012 with M = 6.7. In *Zemletryaseniya Rossii v 2011 g.* [Earthquakes in Russia in 2011]. Obninsk: GS RAS, 2013, pp. 88–93. (In Russ.).
9. Zyabrikov V.A., Kobysheva N.V., Tsirkunov V.S. *Klimat i zheleznodorozhnyi transport* [Climate and Railway Transport]. Moscow: Meteoagentstvo Rosgidrometa, 2000. 185 p.
10. Ivanov E.I., Ivanov I.A. Avalanche danger of sections of the new railway line Elegest–Kyzyl–Kuragino. In *Regional'naya bezopasnost' yavlyaetsya osnovoi ustoychivogo razvitiya. Mater. chetvertoi mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [Regional Security is the Basis of Sustainable Development. Mater. Fourth Int. Sci. -Pract. Conf.]. (Irkutsk, September 22–26, 2014). Irkutsk: Irkutsk Publ., IrGUPS, 2014, pp. 321–326. (In Russ.).
11. Institute of the History of Material Culture, RAS. Available at: <http://www.archo.ru>. (In Russ.).

12. *Informatsionnaya svodka o proyavleniyakh ekzogennykh protsessov na territorii RF za II kvartal 2015 g* [Information Summary of the Manifestations of Exogenous Processes in the Territory of the Russian Federation for the II quarter of 2015]. Moscow: Gidropetsgeologiya, 2015. 58 p.
13. Map of modern geological processes and conditions for their development in the USSR. Scale 1 : 7500000. In *Atlas gidrogeologicheskikh i inzhenerno-gidrogeologicheskikh kart SSSR* [Atlas of Hydrogeological and Engineering-Gydrogeological Maps of the USSR]. Rogovskaya N.V., Ed. Moscow: GUGK, 1983. (In Russ.).
14. Lebedev V.I., Dabiev D.F. Opportunities and prospects for the construction of the Tuva-Mongolian highway. *Ekonomicheskii Analiz: Teoriya i Praktika*, 2014, no. 26(377), pp. 39–46. (In Russ.).
15. Peretokin S.A., Simonov K.V. Refinement of the initial seismicity on the example of the Kyzyl-Kuragino railway. In *Problemy monitoringa okruzhayushchei sredy: Sbornik trudov XI vseross. konf. s uchastiem inostrannykh uchennykh, EM-2011* [Environmental Monitoring Issues: Collection of Works XI All-Russia. Conf. with Foreign Participants, EM-2011]. Kemerovo: Kemerov. Gos. Univ., 2011, pp. 221–227. (In Russ.).
16. Weather and Climate. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (accessed: 05.02.2019). (In Russ.).
17. Podverbnyi V.A., Kurochkin V.A., Blagorazumov I.V., Filatov E.V. Problems and prospects of development of the Kyzyl-Kuragino line. In *Bezopasnost' regionov – osnovna ustoichivogo razvitiya: Mater. chetvertoi mezhdunar. nauch-prakt. konf.* [Regional Security is the Basis of Sustainable Development. Mater. Fourth Int. Sci.-Pract. Conf.]. (Irkutsk, September 22–26, 2014). Irkutsk: Irkutsk Publ., IRGUPS, 2014, pp. 305–321. (In Russ.).
18. The Design Documentation for the Kuragino-Kyzyl Railway Requires Correction, but We can Start Building It. The Ministry of Construction of the Russian Federation. Ministry of Transport of Russia, October 19, 2018. Available at: <https://www.mintrans.ru/press-center/branch-news/832> (accessed: 15.03.2019). (In Russ.).
19. Prudnikov S.G., Ayunova O.D., Chupikova S.A. Correlation of fault-block morphostructures and seismic process of the territory of Tuva and Western Sayan. In *Seismicheskaya bezopasnost' regiona i vozdeistvie seismologicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh faktorov na ego razvitie: Mater. Vseross. nauch.-prakt. konf.* [Seismic Safety of the Region and the Impact of Seismological and Socio-economic Factors on Its Development: Proc. All-Russia Sci.-Pract. Conf. (Kyzyl, November 17–18, 2015)]. Kyzyl: RIO Tyv. Gos. Univ., 2015, pp. 68–71. (In Russ.).
20. The Weather Schedule. Available at: <https://rp5.ru/> (accessed: 08.02.2019). (In Russ.).
21. *Regional'nyi klimaticheskii elektronnyi spravochnik dlya obsluzhivaniya transportnoi otrasli ekonomiki po sub'ektam RF: Tomskaya, Novosibirskaya, Kemerovskaya oblasti, Altaiskii krai i respublika Altai* [Regional Climate Electronic Reference Book for the Maintenance of the Transport Sector of the Economy by Regions of the Russian Federation: Tomsk, Novosibirsk, Kemerovo regions, Altai Krai and Altai Republic]. Novosibirsk: SibNIGMI, 2013. 74 p.
22. *Resursy poverkhnostnykh vod. Angaro-Eniseiskii bassein.* [Surface Water Resources. Angaro-Yenisei Basin]. Vol. 16, no. 1: *Enisei* [Yenisei]. Muranov A.P., Ed. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1973. 723 p.
23. Russian Railways Company drove Baysarov to a Standstill. *Metagazeta*, 2019. Available at: <https://metagazeta.ru/business/rzhd-zagnali-bajzarova-v-tupik/> (accessed: 15.03.2019). (In Russ.).
24. RD 52.04.563-2002: Criteria of Hazardous Hydrometeorological Phenomena and Alarm Signal of Storm. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2002. 28 p. (In Russ.).
25. Sevek V.K., Dongak B.A., Dongak Ch.G., Manchyk-Sat Ch.S., Sevek R.M., Oyun Sh.V. The impact of transport infrastructure on the economic development of the border region (on the example of the Republic of Tyva). *Ekonomika i Predprinimatel'stvo*, 2018, no. 11(100), pp. 571–575. (In Russ.).
26. SP 116.13330.2012: Engineering Protection of Territories, Buildings and Structures from Dangerous Geological Processes. The Main Provisions. Updated edition of SNiP 22-02-2003. Moscow: Ministerstvo Reg. Razvitiya RF, 2012. 59 p. (In Russ.).
27. SP 115.13330.2016: Geophysics of Dangerous Natural Effects. Updated version of SNiP 22-01-95. Moscow: Standardinform Publ., 2016. 40 p. (In Russ.).
28. SP 119.13330.2012: Railways Gauge 1520 mm. Updated edition of SNiP 32-01-95. Moscow: Ministerstvo Reg. Razvitiya RF, 2017. 41 p. (In Russ.).
29. SP 242.1325800.2017: Protection of Railway Tracks and Facilities from Adverse Natural Phenomena. Design and Construction Rules. Moscow: Ministroi, 2017. 103 p. (In Russ.).
30. SP 14.13330.2018: Construction in Seismic Areas. Updated version of SNiP II-7-81. Moscow: Standardinform Publ., 2018. 117 p. (In Russ.).
31. Ulomov V.I. On the engineering seismological surveys in construction. *Inzhenernye Izyskaniya*, 2009, no. 9, pp. 28–39. (In Russ.).
32. Shornikov S., Ivashkova M. Design of bridges of the Kyzyl-Kuragino railway line. *Institut Giprostroimost*, 2010, no. 4, pp. 39–45. (In Russ.).