

УДК 625.1:551.345(470.1/.2)
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-4-105-113

**ОПЫТ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

Х.Б. Гараджаев, С.А. Тесленок

Аннотация. Рассматривается опыт инженерных исследований при проектировании и строительстве железных дорог в Российской Федерации. Стратегией развития железнодорожного транспорта в России до 2030 г. предусматривается новое строительство протяженных железнодорожных линий в основном в северных и восточных регионах страны для реализации задач их инфраструктурного развития и получения новых источников природных ресурсов. В этих районах все мероприятия осуществляются в условиях развития многолетнемерзлых пород. Обращается внимание на особенности проведения обследований подобных грунтов на давно эксплуатируемых железнодорожных линиях. Подчеркивается, что таким крупным проектам должно предшествовать обсуждение методов и технологий проведения работ по использованию новых технологий, материалов и конструкций с участием широкого круга научных организаций, имеющих опыт работы с многолетней мерзлотой.

Ключевые слова: проектирование; строительство; транспортная инфраструктура; железнодорожная сеть; инженерные изыскания; многолетняя мерзлота; многолетнемерзлые грунты.

**РОССИЯ ФЕДЕРАЦИЯСЫНДА КӨП ЖЫЛДЫК
ТОҢДУН ШАРТТАРЫНДА ТЕМИР ЖОЛДОРДУ ДОЛБООРЛООДО
ЖАНА КУРУУДА ИНЖЕНЕРДИК ИЗИЛДӨӨЛӨР БОЮНЧА ТАЖРЫЙБА**

Х.Б. Гараджаев, С.А. Тесленок

Аннотация. Макалада Россия Федерациясындагы темир жолдорду долбоорлоодо жана куруудагы инженердик изилдөөлөрдүн тажрыйбасы каралат. 2030-жылга чейин Россияда темир жол транспортун өнүктүрүү стратегиясы алардын инфраструктуралык өнүгүү милдеттерин ишке аштыруу жана жаратылыш ресурстарынын жаңы булактарын алуу үчүн, негизи алардын жаны курууну карайт. 2030-жылга чейин Россияда темир жол транспортун өнүктүрүү стратегиясы менен алардын инфраструктуралык өнүгүү милдеттерин ишке ашыруу жана жаратылыш ресурстарынын жаңы булактарын алуу үчүн негизинен өлкөнүн түндүк жана чыгыш региондорунда узакка кеткен темир жол линияларынын жаңы курулушун камсыз кылууну карайт. Бул аймактарда бардык иш-чаралар көп жылдык тоң жерлерди өнүктүрүүнүн шарттарында жүргүзүлөт. Көптөн бери колдонулуп келе жаткан темир жол линияларында мындай кыртыштарды изилдөө өзгөчөлүктөрүнө көңүл бурулат. Мындай ири долбоорлордун алдында түбөлүк тоң менен иштөө тажрыйбасы бар илимий уюмдардын кеңири чөйрөсүнүн катышуусу менен жаңы технологияларды, материалдарды жана конструкцияларды колдонуу боюнча иштерди жүргүзүүнүн ыкмаларын жана технологияларын талкуулоо зарыл экендиги баса белгиленет.

Түйүндүү сөздөр: долбоорлоо; курулуш; транспорттук инфраструктура; темир жол тармагы; инженердик изилдөөлөр; көп жылдык тоңдуктар; көп жылдык тоң кыртыштар.

**EXPERIENCE OF ENGINEERING SURVEYS IN THE DESIGN
AND CONSTRUCTION OF RAILWAY C IN THE RUSSIAN FEDERATION
IN CONDITIONS OF PERMAFROST SOILS**

Kh.B. Garadzhaev, S.A. Teslenok

Abstract. The article discusses the experience of engineering research in the design and construction of railways in the Russian Federation. The strategy for the development of railway transport in Russia until 2030 provides for the new construction of long railway lines mainly in the northern and eastern regions of the country to implement the tasks of their infrastructural development and obtaining new sources of natural resources. In these areas, all activities are carried out in the conditions of the development of permafrost rocks. Accordingly, attention is drawn to the peculiarities of conducting surveys of such soils on long-operated railway lines. It is emphasized that such large projects should be preceded by a discussion of methods and technologies for the use of new technologies, materials and structures with the participation of a wide range of scientific organizations with experience in working with permafrost.

Keywords: design; construction; transport infrastructure; railway network; engineering surveys; permafrost; permafrost soils.

В достижении целей и задач и решении ключевых проблем евразийской интеграции и сотрудничества стран Большой Евразии в области экономического, инновационно-технологического, научного и культурного развития и сотрудничества неоспорима и неопределима роль транспортной инфраструктуры в целом и, с учетом огромных размеров территории, – прежде всего железнодорожного транспорта. В основу проектирования и последующего сооружения его объектов всегда положены результаты комплекса инженерных изысканий и обследований [1], включая и такую его важную составную часть, как исследования климатических и эколого-гидрогеологических условий при максимальном использовании возможностей геоинформационных систем и технологий [2, 3]. Важной особенностью инженерных исследований при проектировании и последующей реализации железнодорожного строительства является то, что процессы проектирования и инженерного обследования неразрывно связаны друг с другом: разработка и обоснование документации и проектных решений не могут быть выполнены без материалов, необходимых для проведения обследований, а предварительные проектные исследования всегда нужны для определения объема и состава исследовательских работ.

Процессы проектирования и строительства железных дорог основаны на исследованиях большого числа отечественных и зарубежных ученых и инженеров: В.А. Анисимова, В.А. Бучкина, Ю.А. Быкова, Б.А. Волкова, А.В. Гавриленкова, С.М. Гончарука, А.В. Горина, А.П. Кондратченко, И.П. Корженевича, А.И. Скутина, И.В. Турбина, В.С. Шварцфельда и многих других [4, 5].

Работы по проектированию и строительству новой железной дороги включают следующие этапы: инженерные исследования с соответствующими геологическими и топографо-геодезическими работами; предпроектные работы, в состав которых входит и подготовка планов с детальным обоснованием; проектные работы с подготовкой проектно-сметной документации; строительно-монтажные работы, включающие в себя подготовку участка, платформы; строительство железной дороги и регистрация всей документации, необходимой для ее ввода в эксплуатацию.

Одной из основных задач инженерных изысканий в современных условиях является построение цифровой модели пути, получаемой по результатам изысканий и проектирования с использованием цифровых методов на основе цифрового моделирования рельефа и цифровой модели местности с применением геоинформационных систем и технологий [2, 3, 6]. Она включает в себя набор пространственно привязанной информации о местоположении, характеристиках объектов местности, связях между ними и топографической поверхностью. Трассирование железной дороги наиболее рационально выполнять по кратчайшему направлению между опорными пунктами и фиксированными точками на местности. Цифровая модель, полученная в результате проектно-изыскательских работ, позволяет обеспечить необходимыми пространственными данными строительство и эксплуатацию объектов инфраструктуры железной дороги в течение всего ее жизненного цикла [1]. Однако, успешная реализация

проектов строительства, реконструкции и ремонта железнодорожной инфраструктуры с выдачей результатов проектирования в цифровом виде требует пересмотра действующих нормативных документов федерального уровня. Связано это, прежде всего с тем, что в настоящее время использование пунктов спутниковой геодезической сети, применение цифровых моделей рельефа, геоинформационных систем и технологий при производстве инженерно-геодезических изысканий допускается только лишь соответствующим сводом правил [1, 7].

От специфики железнодорожного строительства зависят требования, предъявляемые к геологической структуре участка, по которому пройдет проектируемый путь [1]. Поэтому необходимо знать все особенности геологического строения территории и ее гидрогеологические условия [3] на протяжении всего проектируемого маршрута. Полнота, детализация и достоверность результатов изучения природных и искусственных условий участков инженерно-геологических исследований позволяют принять оптимальное решение о проектировании и строительстве объекта [1, 4, 5, 8].

Важным направлением развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года определено строительство в северных и восточных регионах страны новых протяженных железнодорожных линий. Государственная стратегия развития железнодорожного транспорта России подчеркивает необходимость такого строительства для инфраструктурного развития и получения новых источников природных ресурсов. При этом предусматривается как модернизация существующей железнодорожной сети, так и проектирование и строительство более 20 000 км новых магистральных дорог и развитие высокоскоростного движения по ряду направлений [9]. И сейчас, в год 185-летия открытия первой в России Царскосельской железной дороги общественного пользования (1837 г.) [10], не смотря на имеющиеся объективные трудности, развитие железнодорожной сети в стране продолжается. В планах, имеющих большое значение для совершенствования транспортной инфраструктуры не только территории Российской Федерации, но Большой Евразии, обеспечить функционирование сразу нескольких трансевразийских коридоров – развитие железнодорожных подходов к портам Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов, расширение Восточного полигона железных дорог, Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей, строительство Северного широтного хода.

Следует отметить, что проектирование и строительство новых ж/д магистралей будет вестись на территориях и в условиях распространения многолетней мерзлоты. Это обстоятельство стало одним из основных научных направлений, возникших и получивших развитие с периода проектирования и строительства Забайкальского и Дальневосточного участков Транссиба, активно совершенствующихся в настоящее время [11].

Многолетняя (некорректное определение «вечная») мерзлота – это грунт (почва и/или горная порода) с температурой, держащейся на уровне или ниже 0 °С на протяжении не менее двух лет подряд. Всего на Земле более 20 % площади суши находятся в зоне многолетней мерзлоты. Наибольшие площади многолетнемерзлых грунтов находятся в России (рисунок 1), Канаде и Китае. Кроме того, многолетняя мерзлота широко распространена на Аляске, Скандинавском полуострове, Гренландии и других островах Арктики, в Антарктиде и различных высокогорных районах мира, включая и Европейские Альпы.

Железные дороги проектируются и строятся в районах распространения многолетнемерзлых грунтов на протяжении более ста лет, и наиболее характерными примерами являются такие железные дороги, как Цинхай – Тибет в Китае, Байкало-Амурская и Амуро-Якутская магистрали в России (см. рисунок 1), Аляскинская железная дорога в США. Как известно, многолетняя мерзлота очень чувствительна к изменениям температуры и климата в целом, что очень характерно для настоящего времени, а также тепловым возмущениям от инженерных сооружений, конструкций, которые существенно изменяют процессы водно-теплового обмена между атмосферой и подстилаемыми многолетнемерзлыми породами насыпями. Происходящие изменения приводят не просто к накоплению тепла антропогенного происхождения, но и к деградации мерзлоты, что, в свою очередь, может вызывать оседание

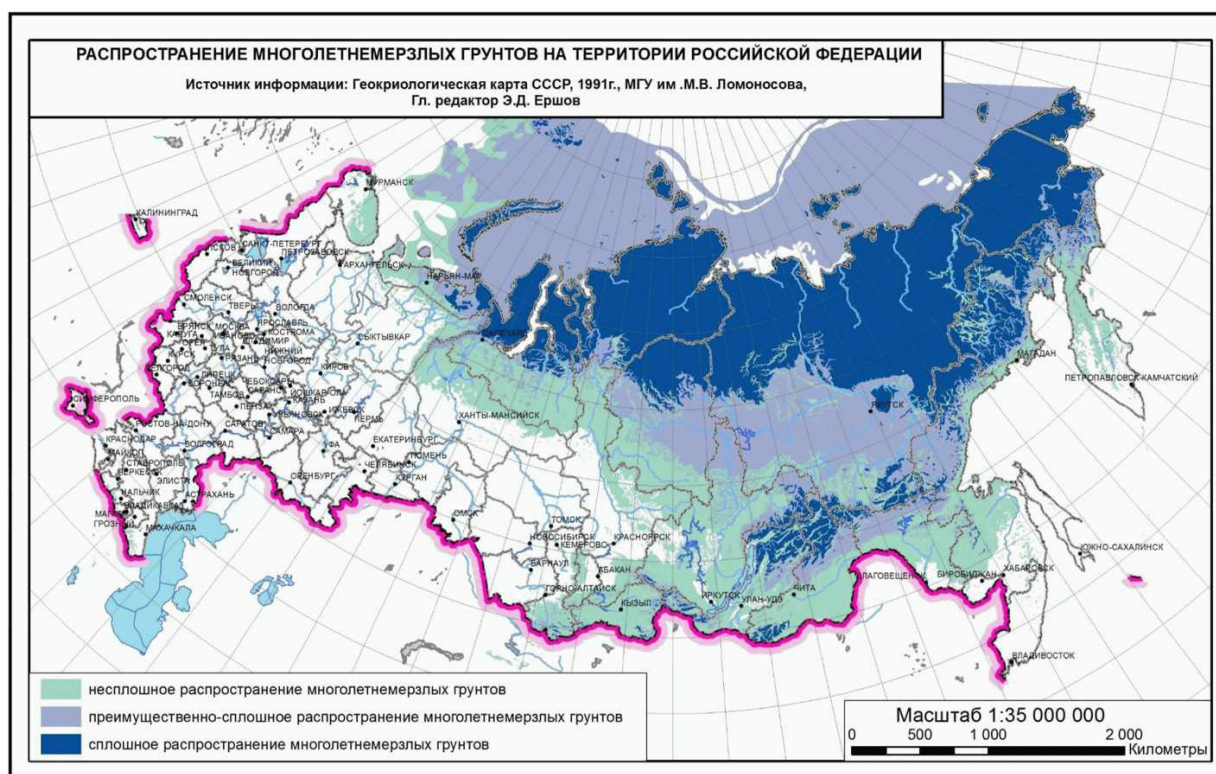


Рисунок 1 – Карта распространения многолетнемерзлых грунтов на территории России [12]

железнодорожной насыпи. Из-за особых характеристик многолетней мерзлоты, расположенной в зоне между двумя сооружениями железной дороги в районах криолитозоны, могут возникать различные осадки, которые, в первую очередь, влияют на безопасность работы поездов.

В России, начиная с 1986 г., наиболее активно занимается проблемами инженерных исследований железнодорожного строительства в условиях многолетней мерзлоты В.Г. Кондратьев [13, 14]. Благодаря его исследованиям были получены представления о моделях взаимодействия железнодорожной насыпи и многолетней мерзлоты и определены методы управления этим взаимодействием. Основное требование заключается в том, что железнодорожный маршрут должен быть разработан и расположен с возможностью организации естественного потока воды по дну насыпи без устройства дренажных канав [15–17]. В.Г. Кондратьевым с соавторами были разработаны несколько способов укрепления фундамента дорожной платформы на почвах, в значительной степени обледеневших от многолетней мерзлоты [13, 14]. В целом снизить среднегодовую температуру почв и поддерживать их в состоянии постоянного замерзания можно путем регулирования соотношения факторов охлаждения и отепления. Другим способом является профилактическое оттаивание сильно обледеневших массивов с одновременной заменой их грунтовой массы.

В ходе строительства в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов важно учитывать различные природно-климатические характеристики района, с помощью которых можно частично оценить современное состояние криолитозоны. В условиях многолетней мерзлоты стабильность платформы во многом будет зависеть от моментов, связанных с дренажем воды. Спроектированные и практически реализованные неправильные решения могут привести к изменению теплового режима почвы, деформациям полотна и самих путей. Так, при изменении условий теплообмена на поверхности в зоне влияния сооружения на грунт возрастает вероятность возникновения температурных деформаций

в слоях грунта [18]. Данная проблема в современных условиях глобальных климатических изменений требует правильных технических решений.

В ходе более чем столетней истории развития железных дорог в криолитозоне еще никто и нигде не смог построить железную дорогу, которая имела стабильное земляное полотно и не была бы деформирована процессами осадки при оттаивания обледенелых почв или подъема при промерзании и пучении разбросанных влажных почв основания. Эти проблемы типичны для всех железных дорог, независимо от срока их службы. В качестве примеров можно привести дороги, работающие самые разные периоды времени [13]: это Забайкальская железная дорога, эксплуатируемая более ста лет (122 года с момента официального открытия движения и принятия в эксплуатацию с 1 июля 1900 г. [10]), современная Байкало-Амурская магистраль, работающая почти четыре десятилетия (38 лет с 27 октября 1984 г., с официального открытия сквозного движения по всей магистрали), а также новые подъездные пути БАМа. Это Новая Чара–Чина (к тому же с самым высоким – 1626 м – перевалом всех железных дорог России) и Улак–Эльга, функционирующие всего лишь в течение пары десятков – десятка лет (их последние участки проложены в 2001 и 2012 гг.).

Как уже отмечалось, при проектировании трассы железной дороги стабильность земляного полотна в условиях многолетней мерзлоты во многом будет зависеть от решений, связанных с отводом воды. Оценку общей устойчивости земляного полотна (насыпей и откосов выемок) рекомендуется осуществлять по первому предельному состоянию – несущей способности (по условиям предельного равновесия). Неверные решения в таком случае могут привести к изменению термического режима грунтов и последующим деформациям.

На выявление прогнозируемых причин отказов (рисков) земляного железнодорожного полотна в подобных условиях существенное влияние оказывает многофакторность, значительно затрудняющая осуществление выбора конкретных конструктивно-технологических решений по его стабилизации и своевременного недопущения негативных последствий в период строительства и последующей эксплуатации.

Деформация железнодорожного полотна напрямую зависит от факта и степени оттаивания подземного льда и последующих осадок ранее промерзших грунтов, то есть от их относительного оседания. Имеющийся опыт показывает, что охлаждение многолетнемерзлых грунтов не имеет альтернативы, проблема в данном случае состоит лишь в выборе его наиболее оптимального варианта [18].

На рисунке 2 показаны варианты технического решения при выявлении островной мерзлоты на значительной глубине и по всему поперечному профилю в условиях Забайкальской железной дороги [18] (генпроектировщик «Сибгипротранспуть», проектные решения «Мосгипротранс»). В первом случае (рисунок 2, а) при проектировании обхода мерзлота обнаружена только со стороны оз. Верхнее на большой (8,9 м) глубине, справа по всей глубине скважин ее нет, ПК 61742+60–ПК61743+20. Во втором (рисунок 2, б) – она выявлена по всему поперечному профилю в зоне строительства подъездного пути к базе ПМС ЖБМ 1×16,5, между оз. Среднее и оз. Нижнее на незначительной (3,8 м от зеркала воды) глубине, ПК 61741+76–ПК61742+60 [18].

Сооружение и эксплуатация железнодорожных путей на участках распространения многолетней мерзлоты, без их постоянного ремонта, возможны двумя принципиально разными способами: поддержанием фундаментных грунтов в замерзшем состоянии в течение всего срока службы дороги или профилактическим размораживанием обледеневших грунтов с их последующей заменой. Стандартная конструкция может усложняться в случае наличия активного слоя с сезонным оттаиванием, мощность которого может увеличиться в результате различных работ на платформе, включая разрушение растительного и почвенного покрова.

Происходящие тепловые деформации второго пути и длительные пластические деформации после оттаивания многолетней мерзлоты не должны препятствовать увеличению грузового товарооборота. Поэтому необходимо проведение серьезных научных исследований при сооружении и эксплуатации железнодорожных путей на участках распространения многолетней мерзлоты.

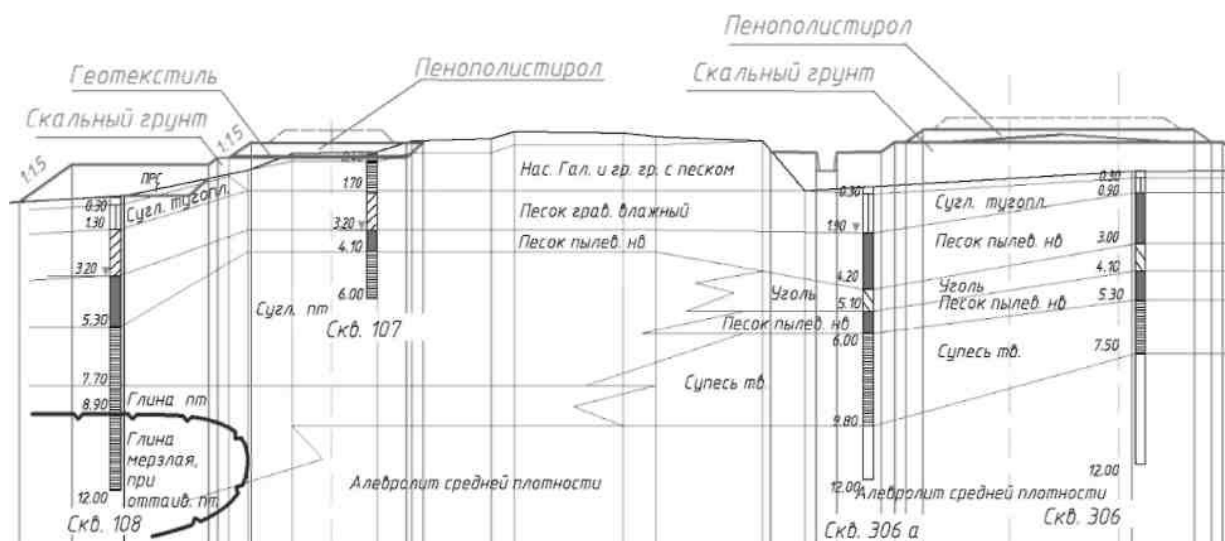


Рисунок 2 – Поперечный профиль насыпи на недостаточно прочном основании [18]:
 а – при островной мерзлоте на значительной глубине;
 б – по всему поперечному профилю на малой глубине

При этом необходимо учитывать, что на состояние криолитозоны влияет сочетание различных факторов, среди которых важен и уровень инсоляции [19]. В определенный момент времени количество солнечного излучения, падающего на светочувствительную поверхность, определяется географическими, топографическими и астрономическими факторами и зависит, прежде всего, от угла падения солнечных лучей на земную поверхность, а также от поглощения и рассеяния солнечного излучения в земную атмосферу [2]. Первый параметр определяется положением нашей планеты на орбите в течение года, широтой места, особенностями его рельефа (крутизна и экспозиция склонов) и временем суток [6]. Вторым параметром определяется высотой Солнца над горизонтом, степенью прозрачности/запыленности атмосферы и показателем альбедо земной поверхности [2]. Таким образом, для получения достоверных результатов теплофизических расчетов грунтов, являющихся основой фундаментов зданий и сооружений, в обязательном порядке следует учитывать показатели и все составляющие солнечной радиации [19]. В противном случае, без принятия определенных конструктивных мер инженерной защиты, неизбежно неравномерное оттаивание отдельных участков полотна железнодорожных насыпей из-за их различных воздействий.

Стабилизация состояния земляного полотна железнодорожного пути на участках распространения многолетней мерзлоты может быть осуществлена на основе тепловых расчетов и технико-экономических сравнений различных потенциальных вариантов с учетом затрат на строительство и техническое обслуживание как самого полотна, так и другой сопутствующей инфраструктуры, а также эксплуатационных расходов [13]. На основании подобного рода технических и технологических решений проходило проектирование Амурско-Якутской железнодорожной магистрали и одного из подъездных путей БАМа – дороги Улак–Эльга, а также разрабатывалось технико-экономическое обоснование мер по стабилизации полотна Забайкальской железной дороги. Согласно полевым наблюдениям, сооружение простейшего навеса над склонами насыпи может снизить температуру грунта на 3–5 °С и обеспечить устойчивость железнодорожной платформы в условиях холмистого рельефа с мерзлотой. Подобное использование навесов или зонтов при сооружении железных дорог в условиях многолетнемерзлых грунтов довольно перспективно, поскольку практически невозможно вырезать грунты такой мощности или предварительно разморозить их. В таких условиях они должны быть защищены от оттаивания в течение всего периода эксплуатации железной дороги [13].

В нормативных документах, справочниках и пособиях [7, 20–24] содержатся требования практически ко всем параметрам будущей дороги, включая опоры, конструкции, ширину полос и др. Только строгое соответствие их предписаниям позволяет получить уверенность в надежности и долговечности спроектированной и построенной дороги. Ведь даже незначительное, на первый взгляд, изменение одного из параметров неизбежно приведет к изменению свойств всей конструкции и появлению большого количества потенциальных уязвимостей, которые в будущем могут стать причиной критических ситуаций, поломок или даже аварий.

Развитие сферы железнодорожного проектирования и строительства не может оставлять без внимания и экологическую безопасность строительства и эксплуатации железнодорожных магистралей, особенно в сложных условиях районов распространения многолетней мерзлоты. Обязательным условием должно стать обсуждение методов и технологий проведения работ по использованию новых материалов и конструкций, техники и технологий с участием широкого круга научных и производственных организаций, имеющих опыт работы с многолетней мерзлотой. Кроме того, при производстве инженерных изысканий и при проектировании и строительстве железных дорог необходимо использовать и инновационные технологии: геоинформационные; цифрового моделирования рельефа, местности и пути; глобального позиционирования и дистанционного зондирования с использованием как космической съемки, так и беспилотных летательных аппаратов.

Поступила: 10.03.23; рецензирована: 24.03.23; принята: 27.03.23.

Литература

1. Коноплева И.И. Инновации при проектировании железнодорожных путей: проблематика, опыт, решения / И.И. Коноплева, Л.А. Богачева // Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта: матер. Межд. студ. научно-практич. конф. 10 апреля 2019 г.: в 2 ч. Ч. 1. Нижний Новгород: Научно-издательский центр «XXI век». С 425–433. URL: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2017-08a08> (дата обращения: 18.07.2022).
2. Алешин А.В. Климатические особенности территории Республики Мордовия, определяющие условия строительства зданий и сооружений / А.В. Алешин, С.А. Тесленок // Огарев-online. 2019. №15. URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/klimaticheskie-osobennosti-territorii-respubliki-mordoviya-opredelyayushhie-usloviya-stroitelstva-zdaniy-i-sooruzhenij> (дата обращения: 18.07.2022).
3. Тесленок С.А. Геоинформационно-картографическое обеспечение эколого-гидрогеологических исследований в строительстве / С.А. Тесленок, В.Ф. Манухов, К.С. Тесленок // Бюллетень строительной техники. 2019. Вып. 1014. № 2. С. 24–27.
4. Бирюкова Г.Ю. Совершенствование методов поддержки принятия решений при проектировании железных дорог: дис. ... канд. техн. наук / Г.Ю. Бирюкова. М., 2005. 158 с.
5. Перельгина А.А. Принятие решений в области проектирования железных дорог / А.А. Перельгина, Л.Ю. Гагарин // Глобус. 2019. № 12 (45). С. 56–59. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prinyatie-resheniy-v-oblasti-proektirovaniya-zheleznyh-dorog> (дата обращения: 18.07.2022).
6. Тесленок С.А. Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия / С.А. Тесленок, В.Ф. Манухов, К.С. Тесленок // Геодезия и картография. 2019. № 7. С. 30–38. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-949-7-30-38.
7. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СП 47.13330.2012. М.: Минрегион России, 2012. 131 с.
8. Холодов П.Н. Выбор оптимального решения в проектировании железных дорог на основе многокритериальной оценки: дис. ... канд. техн. наук / П.Н. Холодов. Иркутск, 2012. 168 с.
9. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. // Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (дата обращения: 18.07.2022).
10. Вульфов А.Б. История железных дорог Российской империи / А.Б. Вульфов. М.: Рипол Классик, 2016. 744 с.
11. Бушуев Н.С. Особенности проектирования трассы железной дороги в условиях вечной мерзлоты / Н.С. Бушуев, С.В. Шкурников, В.А. Герасимов, В.А. Голубцов, О.С. Морозова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 3 (63). С. 135–142. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).
12. Карта распространения многолетнемерзлых грунтов на территории Российской Федерации в м-бе 1:3 500 000 // СП 115.13330.2016. Свод правил. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95 (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 16.12.2016 № 956/пр). URL: <https://e-ecolog.ru/docs/hi1CoIpKj WgddB5EwJibS/> full (дата обращения: 18.07.2022).
13. Кондратьев В.Г. Опыт строительства и проблемы стабильности земляного полотна Цинхай-Тибетской железной дороги на участках вечной мерзлоты / В.Г. Кондратьев // Вестник Росс. ун-та дружбы народов. Сер. Инженерные изыскания. 2007. № 2. С. 129–135.
14. The impact of engineering-geologic conditions on the development of railway subgrade design solutions / V.A. Alpysova, N.S. Buchuev, S. V. Shkurnikov et al. // Procedia Engineering. 2017. № 189. С. 752–758.
15. Герасимов В.А. Особенности теплового влияния климатических и мерзлотно-грунтовых условий на деформации водопропускных труб / В.А. Герасимов // Строительство железных и автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты: науч. тр. ОАО ЦНИИС. Вып. 263. Ч. 5. М.: ЦНИИС. 2011. С. 69–80.
16. Сооружение земляного полотна в сложных условиях: учеб. пособие / Г.Л. Шалягин, Э.С. Спиридонов, М.С. Клыков [и др.]; под ред. М.С. Клыкова. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005. 131 с.
17. Пассек В.В. Влияние мерзлотного состояния насыпи на напряженно-деформированное состояние водопропускной трубы / В.В. Пассек, В.А. Герасимов, В.П. Величко // Строительство железных и автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты: науч. тр. ОАО ЦНИИС. Вып. 263. Ч. 5. М.: ЦНИИС, 2011. С. 81–95.
18. Цыганков В.Д. Особенности проектирования и строительства земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах / В.Д. Цыганков, И.И. Гаврилов // Современные проблемы проектирования, строительства

и эксплуатации железнодорожного пути: XIII Межд. научно-техн. конф. М.: Изд-во Моск. госуд. ун-та путей сообщения им. Императора Николая II. С. 49–54.

19. Павлов А.В. Закономерности формирования криолитозоны при современных изменениях климата / А.В. Павлов // Известия РАН. Сер. География. 1997. № 4. С. 61–73.
20. ВСН 61-89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты: утв. приказом Минтрансстроя СССР от 20.07.1989, № МО 437. М., 1990. 208 с.
21. Пособие по проектированию железных и автомобильных дорог промышленных предприятий в районах вечной мерзлоты: к СНиП 2.05.07-85*. Вып. 5602. М.: Госстрой СССР, 1990. 117 с.
22. Свод правил. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования. СП 237.1326000.2015. М.: Минтранс РФ, 2014. 58 с.
23. Свод правил. Строительная климатология. СП 131.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. М., 2015. 119 с.
24. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах / под ред. Ю.Я. Велли, В.В. Докучаева, Н.Ф. Федорова. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд., 1977. 552 с.