

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 6. С. 196–217.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (6): 196–217.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.131.22

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-6-196-217

EDN: ZHAEBN

ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНУТРИПРОМЫСЛОВЫХ АВТОДОРОГ В СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЯНАО

Олег Анатольевич Бычков, Галина Вениаминовна Пушкарева

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Ямало-Ненецкий автономный округ – это крупнейшая углеводородная сырьевая база, поставляющая газ в объеме до 300–330 млрд м³/год и жидкие углеводороды до 10–15 млн т/год. Добыча минерального сырья сопровождается развитием инженерной инфраструктуры: кустовыми площадками, резервуарами хранения нефти, перекачивающими станциями и автомобильными дорогами, осуществляющими связь как внутри площадок, так и между ними. Район уникален по сложности инженерно-геологических условий за счет многолетнемерзлых грунтов с особо сложными геокриологическими условиями в верхней части разреза. Оценка существующих инженерно-геологических условий обустройства месторождений, а также неблагоприятных процессов, опасностей, рисков и воздействий на проектируемые, строящиеся и эксплуатируемые автомобильные дороги к кустовым площадкам, несомненно, актуальна.

Цель работы. Оценить инженерно-геологические условия проектирования, строительства и эксплуатации внутрипромысловых автомобильных дорог на примере Северо-Комсомольского месторождения.

Методы исследования. Изучение, анализ и обобщение материалов инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной, рабочей документации по обустройству кустовой площадки № 11 Северо-Комсомольского месторождения, выполненных АО «ТомскНИПИнефть». Определение состава и физических свойств грунтов земляного полотна на образцах ненарушенной структуры, отобранных при оборудовании постов наблюдений, выполненных в лаборатории грунтоведения и механики грунтов кафедры ИГМСД ТГАСУ.

Результаты. Региональные особенности природных и инженерно-геологических условий территории ЯНАО показали, что при трассировании автомобильных дорог встречаются участки с твердомерзлыми грунтами и участки с полным или частичным отсутствием многолетнемерзлых грунтов. В первом случае проектирование земляного полотна предусматривает обеспечение поднятия верхнего горизонта многолетней мерзлоты не ниже подошвы насыпи и сохранение его на этом уровне в течение всего периода эксплуатации дороги – это 1-й принцип проектирования. Во втором случае проектирование предусматривает предварительное оттаивание линз мерзлых грунтов и осушение дорожной полосы до возведения земляного полотна – 3-й принцип проектирования. При проектировании по 1-му принципу положение многолетнемерзлых грунтов в основании обеспечивается назначением соответствующей высоты насыпи при применении несцементированных дорожно-строительных материалов и устройством специальных прослоек из теплоизолирующих материалов с их теплотехническим расчетом (торфа,

пенополистирола, твердомерзлых грунтов). Первый принцип предусматривает возведение земляного полотна только в зимний период. Для предотвращения деформации откосов насыпей рекомендуется устраивать бермы из торфа, закрепленного геосинтетическим материалом. Следует не допускать рекультивации земель в зоне строительства дороги во избежание эрозии почвенного покрова.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, многолетняя мерзлота, устойчивость, внутрипромысловые автомобильные дороги

Для цитирования: Бычков О.А., Пушкарёва Г.В. Оценка инженерно-геологических условий проектирования внутрипромысловых автодорог в северных территориях ЯНАО // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 6. С. 196–217. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-6-196-217. EDN: ZHAEBN

ORIGINAL ARTICLE

GEOTECHNICAL CONDITIONS OF IN-FIELD ROAD DESIGN IN NORTHERN TERRITORIES OF YAMALO-NENETS AUTONOMOUS OKRUG

Oleg A. Bychkov, Galina V. Pushkareva

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The Yamal-Nenets Autonomous District is the largest hydrocarbon resource base, supplying up to 300–330 billion m³/year of gas and up to 10–15 million t/year of liquid hydrocarbons. Mineral extraction is accompanied by the development of engineering infrastructure, namely: cluster pads, oil storage tanks, pumping stations and automobile roads that link both within and between sites. The area is unique in terms of complexity of geotechnical conditions due to permafrost soils in particular in the upper open-cast. The assessment of geotechnical conditions of the field development as well as adverse processes, hazards, risks and impacts on designed, constructed and operating roads to the cluster pads is undoubtedly relevant.

Purpose: The evaluation of geotechnical conditions of design, construction and operation of in-field roads in the Severo-Komsomolsk field.

Methodology/approach: The analysis and generalisation of materials of geotechnical surveys for design and construction documentation of the cluster pad 11 in the Severo-Komsomolsk oil-field, performed by AO "TomskNIPIneft". Determination of composition and physical properties of undisturbed soils taken when equipping observation posts, performed in the Laboratory of Ground Science and Soil Engineering, TSUAB.

Research findings: Natural and geotechnical conditions of the Yamal-Nenets Autonomous District includes areas with hard frozen soil and areas with complete or partial absence of permafrost soils. In the first case, the subgrade design envisages that the upper permafrost horizon is not lower than the embankment bottom and remains at this level during the entire period of the road operation. In the second case, the design implies preliminary thawing of frozen soil lenses and road drainage prior to the subgrade construction. In the first case, the position of perennially frozen soils is evaluated by the appropriate embankment height, when non-cemented road-building materials are used, and by arranging heat-insulating layers (peat, polystyrene foam, hard frozen soil) with their thermotechnical calculation. The first principle implies the subgrade construction only in winter. To prevent deformation of embankment slopes, it is recommended to build peat benches fixed with a geosynthetic material. Land reclamation in the road construction zone should be avoided to prevent erosion of the soil cover.

Keywords: geotechnical conditions, permafrost, stability, in-field road

For citation: Bychkov O.A., Pushkareva G.V. Geotechnical conditions of in-field road design in northern territories of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. Vestnik

Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (6): 196–217. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-6-196-217. EDN: ZHAEBN

Введение

Ямало-Ненецкий округ – это крупнейший центр по добыче газа и нефти, расположенный в арктическом районе Западно-Сибирской низменности в I дорожно-климатической зоне (ДКЗ) [1, 2], посередине северной части Евразии. Регион охватывает полуострова Гыданский, Тазовский, Ямал, склоны Полярного Урала и Приполярья, острова Карского моря. На формирование суровых климатических условий влияют врезающиеся в сушу холодные морские заливы, близость северного Карского моря, многолетняя мерзлота, обилие рек, озёр, заболоченной местности. Территория региона находится в трех климатических поясах: субарктическом, арктическом и в зоне северной полосы. В целом преобладает континентальный климат с затяжной холодной зимой (с бурями, метелями, морозами, полярным сиянием) и коротким прохладным, ветреным летом. Зимой температура может опуститься до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, а летом подняться до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3].

В качестве опорной территории для изучения и оценки инженерно-геологических условий выбрана кустовая площадка № 11 одного из крупнейших по запасам высоковязкой нефти Северо-Комсомольского месторождения, территория которого интенсивно обустроивается. Многолетнемерзлые грунты (ММГ) с особо сложными геокриологическими условиями в верхней части разреза и особой чувствительностью к техногенным воздействиям определяют уникальность района по тяжести инженерно-геологических условий. Постоянно действующая дорожная сеть на месторождении отсутствует. В качестве производственного транспорта используются тракторы и вездеходы. Перевозка груза и полевые геолого-геофизические работы осуществляются большей частью в зимний период после промерзания болот и рек. Регулярные грузоперевозки производятся с помощью авиации.

Инженерные изыскания автомобильной дороги к объекту «Кустовая площадка № 11 Северо-Комсомольского месторождения» выполнены управлением инженерно-строительных изысканий ОАО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа» [4]. Участок проведения работ характеризуется массивно-островным распространением ММГ [5]. Соответственно земляное полотно автомобильной дороги следует проектировать разными методами. На участках с массивным распространением ММГ их горизонт необходимо поднять под основание земляного полотна и создать условия для его сохранения на период эксплуатации. При островном распространении ММГ необходимо опустить мерзлоту путем расчистки полосы отвода дороги от растительности и снега на период не меньше года и осуществлять строительство обычными методами.

Физико-географическое положение района строительства

Северо-Комсомольское нефтегазоконденсатное месторождение расположено на территории Пуровского и Надымского районов ЯНАО. Оно находится в 170 км от Полярного круга и в 100 км от г. Губкинского (рис. 1).

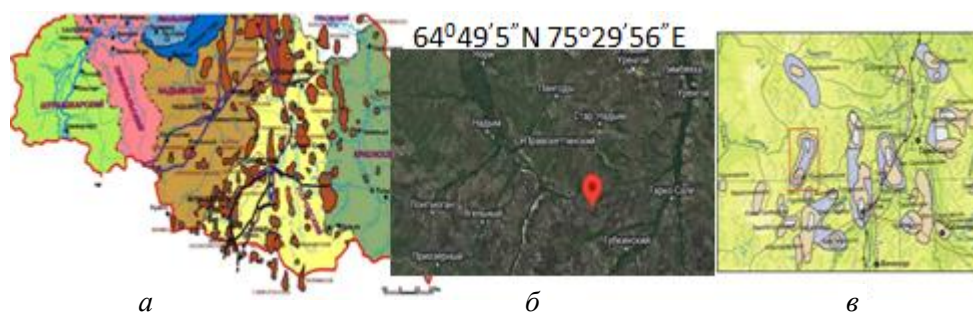


Рис. 1. Обзорная карта Ямало-Ненецкого автономного округа [1] (а); географическое положение Северо-Комсомольского месторождения (б); обзорная карта района расположения Северо-Комсомольского месторождения (в)

Fig. 1. The Yamal-Nenets Autonomous District map [1] (a); geographical location of the North Komsomolsk field (b); North Komsomolsk field location (c)

Участок района работ в административном отношении расположен в южной части Северо-Комсомольского месторождения на территории Надымского района (рис. 2).



Рис. 2. Схема расположения Северо-Комсомольского месторождения (а) и общий вид на кустовую площадку № 11 (б) [2]

Fig. 2. Location of the Severo-Komsomolsk field (a) and general view of cluster pad 11 (b)

Согласно ландшафтному районированию Западной Сибири, район работ находится на территории северотаежной зоны Обско-Тазовской провинции (рис. 3, а) [6]. С географической точки зрения район изысканий расположен на территории Западно-Сибирской равнины в Обь-Енисейском междуречье и принадлежит к бассейну Карского моря. Естественный рельеф изучаемой территории представляет собой плоскую заболоченную равнину. Абсолютные отметки местности в районе изысканий изменяются в пределах от 73,04 до 76,54 м. Поверхность равнины насыщена мерзлотными формами рельефообразования – мелкобугристыми, крупнобугристыми и плоскобугристыми торфяниками, заторфованными озерами. В районе изысканий распространены следующие типы ландшафта: суходольные участки, талые озера и торфяники с участками распространения мерзлых грунтов (рис. 3, б).

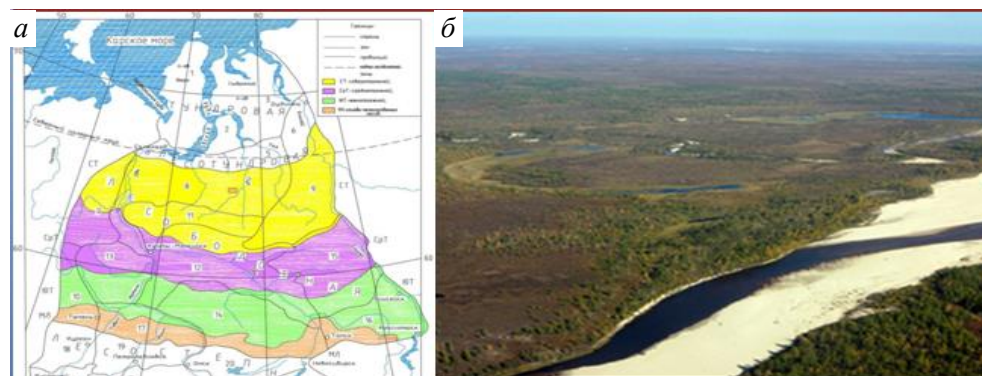


Рис. 3. Ландшафтные зоны Западной Сибири (а); естественный рельеф изучаемой территории (б) [1]

Fig. 3. Landscape zones (a) and natural relief (b) of West Siberia

Растительность в районе работ представлена кустарничками, мхами и частично смешанным лесом: сосной, кедром, елью, березой. Заболоченные участки покрыты влаголюбивой растительностью: осокой и камышом; гидрографическая сеть участка изысканий – многочисленными болотными озерами и перетоками между ними.

Геологические и геокриологические условия участка проектируемой автомобильной дороги

Геологический разрез исследуемой территории представлен переслаиванием суглинков и песков. Грунты находятся как в талом, так и в мерзлом состоянии. Границы талых и мерзлых грунтов по глубине приведены на продольном профиле проектируемой автомобильной дороги. В геологическом строении территории на исследуемую глубину 10,0–17,0 м принимают участие:

1. Торф сильноразложившийся сильнольдистый атакситовой криотекстуры, при оттаивании маловлажный 1-го типа, мощностью от 0,6 до 1,0 м. По трассе автомобильной дороги к кустовой площадке торф встречен на ПК0+00 – ПК1+45,2 с поверхности до глубины 1,0 м.

2. Суглинок легкий песчанистый мягкопластичный. Мощность суглинка изменяется от 0,4 до 7,3 м. По трассе автомобильной дороги суглинок встречен на ПК0+27 – ПК1+55 мощностью до 3,4 м, а также на ПК5+71 – ПК12+51, вскрытой мощностью 3,0–8,2 м.

3. Суглинок легкий песчанистый текучепластичный мощностью от 2,4 до 3,8 м. Встречен по трассе автомобильной дороги в средней части разреза, распространен локально.

4. Песок мелкий плотный водонасыщенный. Мощность песка изменяется от 1,0 до 4,8 м. По трассе автомобильной дороги вскрыт в верхней части разреза в интервале глубин от 0,6 до 4,6 м, вскрытой мощностью от 1,2 до 4,0 м.

5. Песок мелкий средней плотности твердомерзлый массивной криотекстуры слабльдистый, при оттаивании водонасыщенный. Мощность песка изменяется от 0,4 до 2,2 м. По трассе автомобильной дороги к кустовой площадке песок имеет широкое распространение по всему изученному разрезу.

Согласно схеме общего геокриологического районирования Западно-Сибирской плиты [7], участок проведения работ располагается в Надым-Пуровской области и характеризуется массивно-островным распространением многолетнемерзлых грунтов (рис. 4).

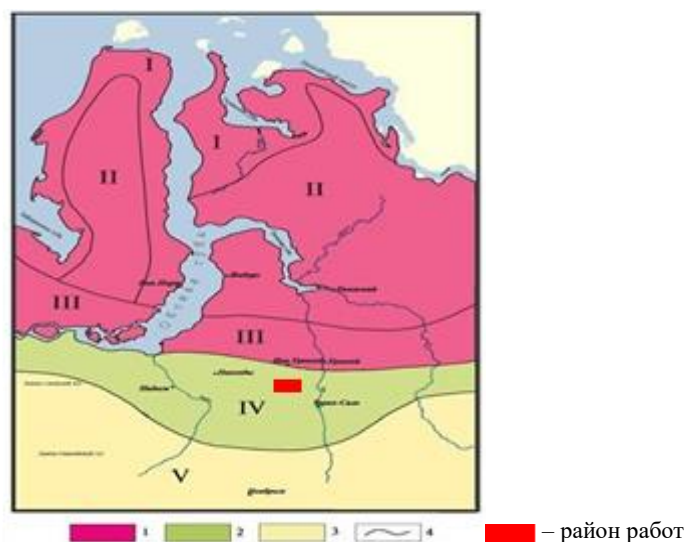


Рис. 4. Районирование территории Западно-Сибирской нефтегазовой провинции по сложности разреза криогенной толщи [7]:

1 – особо сложные; 2 – сложные; 3 – несложные; 4 – границы районов; I – Ямало-Гыданский район; II – Ямало-Гыдано-Тазовский; III – Обская губа-Тазовский; IV – Надым-Пур-Тазовский; V – Обско-Пур-Тазовский район

Fig. 4. Zoning of the West Siberian oil and gas province by complexity of cryogenic strata section:

1 – especially complex; 2 – complex; 3 – not complex; 4 – district boundaries; I – Yamal-Gydan; II – Yamal-Gydan-Tazovsky; III – Obkaya Guba-Tazovsky; IV – Nadym-Pur-Tazovsky; V – Obsko-Pur-Tazovsky Districts

Тип сезонного промерзания и оттаивания (деятельный слой) грунтов по классификации [8] континентальный. Сезонное промерзание начинается с переходом среднесуточной температуры воздуха через 0°C в область отрицательных значений в конце сентября – начале октября. Глубина промерзания обусловлена в основном литологическим составом поверхностного слоя, его предзимней влажностью, а также режимом снегонакопления. На плоских безлесных и редколесных участках глубина промерзания составляет 0,6–1,0 м.

Сезонное оттаивание грунтов начинается в конце мая – начале июня и заканчивается в сентябре – октябре. Глубина сезонного оттаивания составляет 0,5–4,0 м на торфяниках и 0,3–4,5 м в местах выхода на дневную поверхность песчано-глинистых грунтов.

Мерзлые грунты озерно-болотного генезиса представлены торфом мерзлым сильноразложившимся. Мерзлые грунты озерно-аллювиального генезиса представлены песками и суглинками. Пески характеризуются массивной криотекстурой, суглинки – чаще слоистой криотекстурой (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика мерзлых толщ грунтов на территории проектирования

Table 1

Permafrost soil on the territory

№ района, район	Распространение ММГ	Глубина залегания от подошвы талого слоя	Температура $T, ^\circ\text{C}$	Сложность по геокриологическим условиям
IV Надым-Пур- Тазовский	Массивное, островное	До 10 м	От -1 до -3	Сложный

Трасса проектируемой автомобильной дороги к кустовой площадке № 11 сложена как мерзлыми, так и талыми грунтами. На участке изысканий вскрыта мерзлота сливающегося и несливающегося типа. Распространение мерзлых грунтов отражено на карте мерзлотных условий (рис. 5).

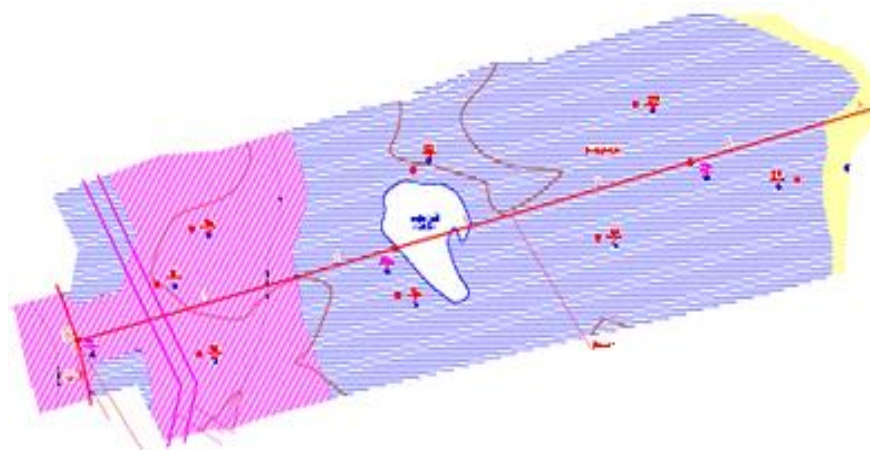


Рис. 5. Распространение и условия залегания мерзлых грунтов по трассе автомобильной дороги [4]:

\\\\\\ – участки распространения твердомерзлых грунтов сливающегося типа;

//// – участки распространения твердомерзлых грунтов несливающегося типа

Fig. 5. Distribution and conditions of frozen soil on the road [4]:

\\\\\\ – hard frozen soil of merging type;

//// – hard frozen soils of non-merging type

Ямало-Ненецкий автономный округ расположен в первой дорожно-климатической зоне в северной и южной подзонах [8]. Согласно схеме инженерно-геологического районирования Западно-Сибирской плиты, участок проведения работ относится к провинции преимущественного распространения пород без жестких связей, к зоне распространения многолетнемерзлых дисперсных грунтов, подзоне несплошного (прерывистого) распространения многолетнемерзлых грунтов [5]. Непосредственно территория изысканий относится к Пуровской области позднечетвертичных аллювиальных и озерно-

аллювиальных террасовых равнин, сложенных мерзлыми и талыми сильноувлажненными грунтами (рис. 6). Из рисунка видно, что район работ находится на границе первой (северной) и третьей (южной) подзон I ДКЗ, чем и обусловлено одновременное присутствие на участке проектирования твердомерзлых грунтов сливающегося и несливающегося типов.

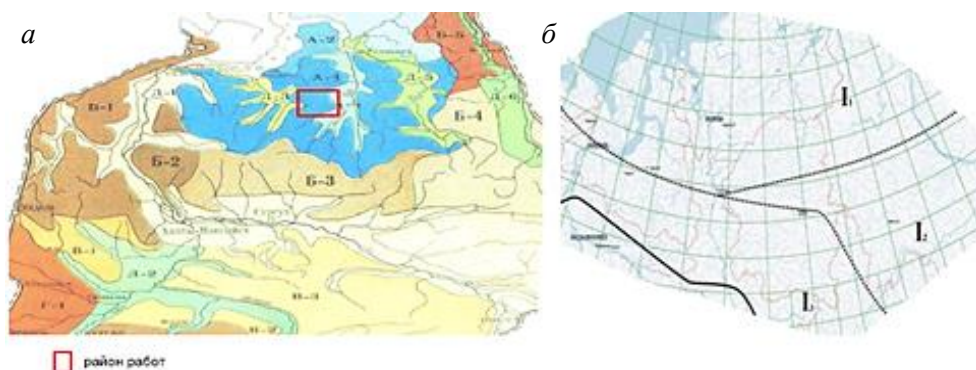


Рис. 6. Схема инженерно-геологического районирования. А-4 – Северная Обь-Енисейская область (а); участок I ДКЗ с подзонами: I₁ – северная; I₂ – центральная; I₃ – южная (б) [1]

Fig. 6. Schematic of geotechnical zoning: A-4 – Northern Ob-Yenisei region (a); I₁ – northern; I₂ – central; I₃ – southern (b) subzones

Инженерно-геологическая характеристика участка проектирования

Начало трассы автомобильной дороги к кустовой площадке № 11 ПК0+00,00 соответствует ПК265+01,63 ранее проектируемой трассы автомобильной дороги к кустовой площадке № 10. Конец трассы ПК12+51,19 расположен на кустовой площадке № 11. Протяженность трассы составляет 1,251 км. Рельеф участка прохождения трассы пологоволнистый, абсолютные отметки поверхности изменяются от 73,04 до 76,54 м. Заболоченность по трассе составляет 12 %. На суходольных участках развит почвенно-растительный слой мощностью 0,2 м. Глубина деятельного слоя – 0,6 м. В соответствии с [8] тип местности по степени увлажнения – 3 (мокрые места). В процессе изысканий по трассе вскрыты сезонно-мерзлые, мерзлые и талые грунты. Радиационно-тепловые талики распространены при близком расположении трассы автомобильной дороги с озерами, талики гидрогенного типа выявлены непосредственно на участках прохождения через озеро.

По всей длине трассы присутствует мерзлота как сливающегося, так и несливающегося типа. Глубина деятельного слоя на всем протяжении колеблется от 0,6 до 1,0 м. Талые грунты присутствуют на участках трассы ПК0+00 – ПК5+71 мощностью от 1,2 до 3,2 м; ПК5+71 – ПК12+51 мощностью от 9,4 до 16,4 м. Талые грунты представлены суглинками легкими песчанистыми мягкопластичными, песками мелкими плотными водонасыщенными. Мерзлые грунты имеют различные криотекстуры: массивную и слоистую.

Песок мелкий средней плотности твердомерзлый массивной криотекстуры слабодистый, при оттаивании водонасыщенный, имеет широкое

распространение по всему изученному разрезу с глубины 0,4 до 2,2 м. На ПК2+44,59 трасса пересекает небольшое озеро глубиной 0,5 м, шириной по створу 40,5 м и на ПК2+90,37 шириной по створу 10 м. Гидрогеологические условия изучаемой территории характеризуются наличием болотных и грунтовых вод.

В соответствии с ГОСТ 20522¹ по трассе автомобильной дороги выделен 1 слой и 5 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

1. Слой 1 – почвенно-растительный слой, мерзлый. На суходольных участках распространен мощностью 0,2 м.

2. ИГЭ-340 – суглинок легкий песчаный мягкопластичный. ПК0+27 – ПК1+55 в интервале глубин от 3,8 до 7,2 м мощностью до 3,4 м, также на ПК5+71 – ПК12+51 вскрытой мощностью 3,0–8,2 м.

3. ИГЭ-540 – песок мелкий плотный водонасыщенный. Вскрыт в верхней части разреза в интервале глубин от 0,6 до 4,6 м вскрытой мощностью от 1,2 до 4,0 м.

4. ИГЭ-м340 – суглинок пластично-мерзлый слабодыстый слоистой криотекстуры, при оттаивании легкий мягкопластичный. Суглинок вскрыт в основном в нижней части изученного разреза на ПК0+27 – ПК5+71 с глубины 7,2–7,7 м до глубины 10,0 м вскрытой мощностью от 2,3 до 2,8 м.

5. ИГЭ-м350 – суглинок пластично-мерзлый льдистый слоистой криотекстуры, при оттаивании легкий текучий. Суглинок вскрыт в основном в средней части изученного разреза на ПК1+55 – ПК5+71 с глубины 1,8–2,0 м до глубины 7,3–7,7 м вскрытой мощностью от 5,5 до 5,7 м.

6. ИГЭ-м540 – песок мелкий средней плотности твердомерзлый массивной криотекстуры слабодыстый, при оттаивании водонасыщенный. Имеет широкое распространение по всему изученному разрезу.

Во время строительства необходимо учесть следующие неблагоприятные факторы, осложняющие строительство:

– заболачивание территории и развитие торфов. Максимальная глубина болот достигает 1,0 м. Болота по проходимости строительной техникой, согласно [11], 1-го типа, сложены торфом сильноразложившимся;

– морозное пучение. Согласно [9], по степени опасности морозного пучения территория относится к «опасным».

Нормативная глубина сезонного промерзания-оттаивания грунтов определяется по [10]. Глубина сезонного промерзания торфа – 1,9 м, суглинка мягкопластичного – 3,5 м, песка – 3,5 м, сезонного оттаивания торфа – 1,3 м, суглинка мягкопластичного – 2,7 м, песка – 3,0 м.

Методика инженерно-геологических исследований

Подготовительные полевые буровые работы проводились ОАО «ТомскНИПИнефть» [4], лабораторные исследования свойств грунтов – в стационарной аккредитованной лаборатории исследований грунтов АО «ТомскНИПИнефть» и в лаборатории грунтоведения и механики грунтов кафедры ИГМСД ТГАСУ.

¹ ГОСТ 20522–2012. Методы статистической обработки результатов испытаний. Москва: Стандартинформ, 2013. 20 с.

На подготовительном этапе собиралась необходимая информация о районе исследований по имеющимся фондовым материалам. Проводились инженерно-геологические рекогносцировочные наблюдения и описания местности в целом и на отдельных точках, характеризующих проектируемую автомобильную дорогу.

Полевой этап включал в себя работы по бурению скважин, термометрические исследования, полевые испытания прочности грунтов на болотных массивах, испытания грунта методом статического зондирования, а также лабораторные работы.

Буровые работы сопровождались отбором проб грунта нарушенной и ненарушенной структуры (монолиты и объемные кольца) для последующего определения их состава, состояния и физико-механических свойств.

Грунты ненарушенной структуры, монолиты, отбирались, упаковывались, транспортировались и хранились в соответствии с ГОСТ 112071–2014² (рис. 7). Образцы мерзлых грунтов перевозились в специальных термоконтейнерах и хранились в холодильных камерах.



Рис. 7. Отобранный монолит
Fig. 7. Selected monolithic soil

По образцам грунтов нарушенной и ненарушенной структуры определялись: гранулометрический состав по ГОСТ 12536–2014³ ареометрическим методом (рис. 8). Естественная влажность грунтов определялась методом высушивания до постоянной массы, влажность на границе текучести – методом балансного конуса, влажность на границе раскатывания – методом раскатывания в жгут по ГОСТ 5180–2015⁴ (рис. 9).

² ГОСТ 12071–2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Москва: Стандартинформ, 1915. 14 с.

³ ГОСТ 12536–2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Москва: Стандартинформ, 2019. 23 с.

⁴ ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Москва: Стандартинформ, 2019. 23 с.



Рис. 8. Установка для определения гранулометрического состава грунта
Fig. 8. Installation for grain size distribution estimation



Рис. 9. Определение влажности проб грунта термостатно-весовым методом
Fig. 9. Determination of soil moisture by thermostatic weight method

По образцам грунтов ненарушенной структуры определялась плотность методом режущего кольца по ГОСТ 5180–2015 с расчетом пористости, коэффициентов пористости и водонасыщения, прочностных и деформационных характеристик (удельное сцепление, угол внутреннего трения, модуль деформации) (рис. 10).



Рис. 10. Определение плотности грунта

Fig. 10. Determination of soil density

Методом совмещенного определения физических характеристик мерзлых грунтов определялись плотность мерзлого грунта, суммарная влажность и относительная осадка оттаивающего грунта. Показатели льдистости и степени заполнения пор льдом и незамерзшей водой определялись расчетными методами по ГОСТ 12248⁵.

По относительной деформации морозного пучения, согласно выполненным лабораторным определениям степени пучинистости грунтов по ГОСТ 28622⁶, в соответствии с п. Б.2.19 ГОСТ 25100⁷, грунты в слое сезонного промерзания-оттаивания:

- ИГЭ-540, ИГЭ-м540 – слабопучинистые;
- ИГЭ-340 – сильнопучинистые;
- ИГЭ-350, ИГЭ-м350 – чрезмерно пучинистые.

В соответствии с [2, табл. В.6], по степени пучинистости грунты подразделяются:

- на песок мелкий (ИГЭ-540, ИГЭ-м540) – слабопучинистые – II группа;
- суглинок легкий (ИГЭ-340) – сильнопучинистые – IV группа;
- суглинок легкий (ИГЭ-350, ИГЭ-м350) – чрезмерно пучинистые – V группа.

Присутствие глинистых грунтов в слое сезонного промерзания-оттаивания (деятельный слой) обуславливает их сезонное пучение. Для суглинистых грунтов прогноз процесса пучения заключается в определении прогнозной влажности порога пучения по формуле В.А. Кудрявцева [5]:

$$W_{п.п} = W_n + n(W_{кр} - W_n),$$

где $W_{кр} = 0,91W_n$; W_n – полная влагоемкость, д. е.; $W_p = e/ps$, д. е.; W_n – влажность за счет незамерзшей воды, д. е.; $n = 0,7$ (коэффициент, зависящий от континентальности климата).

⁵ ГОСТ 12248–2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. Москва: Стандартинформ, 2012. 84 с.

⁶ ГОСТ 28622–2012. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. Москва: Стандартинформ, 2013. 9 с.

⁷ ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. Москва: Стандартинформ, 2020. 41 с.

В слое сезонного промерзания глинистые грунты представлены суглинками (ИГЭ-м350). Расчет влажности порога пучения грунтов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Влажность порога пучения грунтов слоя сезонного протаивания

Table 2

Moisture threshold of soil heaving

ИГЭ	W_{tot} , д. е.	e	W_n , д. е.	$W_{кр}$, д. е.	W_n , д. е.	n	$W_{п.п.}$, д. е.
м350	0,281	0,78	0,287	0,261	0,07	0,7	0,204

Пучение грунтов в слое сезонного промерзания будет происходить тогда, когда их влажность превысит значение влажности порога пучения.

По результатам выполненных инженерно-геологических исследований установлены показатели физических свойств грунтов для территории проектирования автомобильной дороги, приведенные в табл. 3–5.

Таблица 3

Физические свойства глинистых грунтов

Table 3

Physical properties of clay soil

Грунт	Естественная влажность, %	Плотность, г/см ³			Число пластичности, %	Пористость, %	Максимальная молекулярная влагоемкость
		твердых частиц	мерзлого грунта	скелета мерзлого грунта			
Супеси	15–39	2,67	1,92	1,54	6	43	9
Суглинки легкие	17–215	2,70	1,65	1,18	8	56	12

Таблица 4

Физические свойства и естественная влажность песчаных грунтов

Table 4

Physical properties and natural moisture of sandy soil

Пески	Естественная влажность, %	Плотность, г/см ³			Пористость, %	Коэффициент пористости	Коэффициент фильтрации, м/сут
		твердых частиц	мерзлого грунта	скелета мерзлого грунта			
Мелкие	9–34	2,65	1,73	1,43	46	0,86	2,6
Пылеватые	5–98	2,65	1,73	1,44	44	0,86	1,4

Таблица 5

Средние значения показателей физических свойств мерзлых грунтов

Table 5

Average physical properties of permafrost soil

Наименование показателей	Индекс	Ед. изм.	Суглинки	Супеси
Суммарная влажность	W_{tot}	д. е.	4,75	0,2
Влажность за счет незамерзшей воды	W_w	д. е.	1,75	0,08
Плотность скелета мерзлого грунта	$\rho_{d,m}$	г/см ³	0,18	1,71
Плотность скелета талого грунта	$\rho_{d,tm}$	г/см ³	0,19	1,74
Объемная теплоемкость мерзлого грунта	C_f	Дж/(м ³ ·°C)10 ⁻⁶	2,76	2,64
Объемная теплоемкость талого грунта	C_{th}	Дж/(м ³ ·°C)10 ⁻⁶	4,11	3,11
Коэффициент теплопроводности мерзлого грунта	λ_f	Вт/(м·°C)	0,97	1,66
Коэффициент теплопроводности талого грунта	λ_{th}	Вт/(м·°C)	0,88	1,45
Температура начала замерзания грунта	T_{bf}	°C	-0,13	-0,3

Рекомендуемые к проектированию значения прочностных и деформационных характеристик грунтов представлены в табл. 6.

Таблица 6

Прочностные и деформационные характеристики грунтов

Table 6

Strength and strain soil parameters

ИГЭ	Угол внутреннего трения ϕ , град	Сцепление C , кПа	Модуль деформации E , МПа
350	21	21	21
m350	21	13	20
540	32	3	31

Мерзлые грунты обладают высокими прочностными свойствами. При сохранении их в мерзлом состоянии эти грунты будут надежным основанием для земляного полотна.

Конструктивные особенности проектирования земляного полотна в условиях многолетнемерзлых грунтов

Северо-Комсомольское месторождение расположено в I ДКЗ на границе северной I_1 и южной I_3 подзон (см. рис. 6). Однако нельзя рассматривать границы жесткими, поскольку как в одну, так и в другую сторону более чем на 100 км

возможно отступление от линии границ на карте. Поэтому, как показали инженерно-геологические изыскания, на участке отвода промышленной автомобильной дороги, соединяющей кустовую площадку № 11 с автодорогой площадки № 10, присутствуют участки, характерные для северной и южной подзон.

В процессе проектирования земляного полотна необходимо руководствоваться следующими принципами [12]:

1. На участках с мерзлотой сливающегося типа земляное полотно проектировать по первому принципу, который предусматривает обеспечение поднятия верхнего горизонта ММГ не ниже подошвы насыпи и сохранение его на этом уровне в течение всего периода эксплуатации дороги. При этом надо иметь в виду, что поднятие ММГ до подошвы основания насыпи или несколько выше происходит не по всей площади ее основания. В данном случае необходимо решать вопрос сохранения в мерзлом состоянии части основания, расположенной под откосом.

2. На участках с мерзлотой несливающегося типа земляное полотно проектируют по третьему принципу, который предусматривает предварительное оттаивание островной мерзлоты путем расчистки полосы отвода дороги с оставлением на год, осушением и дальнейшим строительством по принципу второй ДКЗ.

Наличие на участке проектирования мерзлых легких суглинков (М350) позволяет применить, как вариант в проектировании конструкции земляного полотна по первому принципу, мерзло-комковатый разрыхленный грунт, сохраняемый в мерзлом состоянии во время эксплуатации [14]. Одним из условий сохранения грунта насыпи в мерзлом состоянии является его гидроизоляция. В качестве гидроизоляции в данном случае может быть использована обойма из полиэтиленовой рулонной пленки [15], стабилизированной сажой. Кроме того, в результате воздействия тепловых потоков со стороны оттаявшего деятельного слоя наблюдается оттаивание основания насыпи у ее подошвы и, как следствие, просадка. В этом случае необходимо устраивать теплоизоляцию на поверхности грунта рядом с подошвой насыпи. Для сохранения нижней части насыпи в мерзлом состоянии в качестве теплоизолятора на сегодняшний день, как правило, применяют торф, поскольку он достаточно широко распространен и дешев. Однако торф в значительно большей степени, чем другие грунты, подвержен криогенному растрескиванию с образованием в грунте температурных напряжений, превышающих предел прочности грунта на разрыв, что может привести к разрушению всей конструкции. В настоящее время в качестве теплоизолятора может быть применен пенопласт, используемый в дорожном строительстве и обеспечивающий как теплозащиту, так и прочность [16].

При конструировании насыпи следует учитывать наличие макропор в мерзло-комковатом ядре. При уплотнении мерзлого комковатого глинистого грунта происходит более плотная упаковка комьев, однако разрушению они поддаются мало, поэтому образование макропор можно считать практически неизбежным. Известно, что при отрицательных температурах и взаимодействии мерзлого грунта с воздухом происходит сублимация порового льда, иссушение поверхности мерзлого грунта и перенос влаги в виде пара в более холодные области грунта. Для исключения негативного влияния паропереноса

желательно использовать мерзло-комковатый грунт с добавлением сыпучемерзлого грунта (до 30 % по объему) по всей высоте мерзлого ядра насыпи.

Варианты конструкций земляного полотна с использованием местного комковато-мерзлого грунта в нижней части насыпи без его оттаивания представлены на рис. 11. Теплоизолирующая часть тепло- и гидроизолирующей прослойки может иметь различное конструктивное решение и устраиваться из торфа либо пенопласта или из торфа и пенопласта. Требуемая эффективность тепло- и гидроизолирующей прослойки зависит от ее конструкции, включая толщины слоев и термоизолирующих материалов и сочетания этих слоев. Требуемая толщина тепло- и гидроизолирующей прослойки определяется для конкретных высот насыпей по теплотехническому расчету.

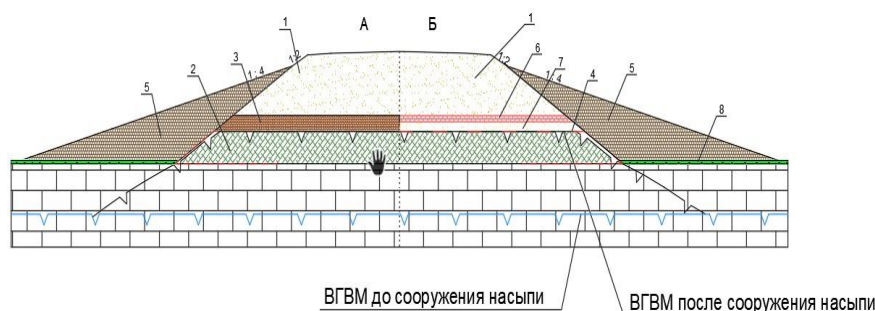


Рис. 11. Конструкции насыпи с ядром из мерзло-комковатого грунта:

1 – песчаный грунт; 2 – мерзло-комковатый грунт; 3 – торф уплотненный; 4 – полубойма из гидроизолирующего материала; 5 – теплоизоляционный слой из торфа; 6 – пенопласт; 7 – песчаный выравнивающий слой; 8 – мохорастительный покров

Fig. 11. Embankment structures with frozen lumpy soil:

1 – sandy soil; 2 – frozen lumpy soil; 3 – compacted peat; 4 – waterproof material semi-holder; 5 – heat-insulating peat layer; 6 – foamed plastic; 7 – sandy levelling layer; 8 – moss-vegetation cover

Расчет необходимой толщины плит теплоизолирующего слоя в насыпи для недопущения под ним морозобойного расстрескивания грунтов мерзло-комковатого ядра осуществляется подбором из условия недопущения превышения максимальной амплитуды температуры грунта под слоем плит пенопласта (A_{\min}) ее максимально допустимого значения по условию морозобойного растрескивания (A_{cr}). Ориентировочные значения A_{cr} для мерзлых грунтов: для песка $w = 0,15-0,22A_{cr} = -(18-25)^\circ\text{C}$, для суглинистого грунта $w = 0,25-0,45A_{cr} = -(14-20)^\circ\text{C}$, для мерзлых торфов $w = 3,5-5,0A_{cr} = -(12-15)^\circ\text{C}$.

Расчет A_{\min} проводится по программе (см. ниже), где введены обозначения: h_i – толщина i -го слоя в насыпи (i отсчитывается сверху вниз); λF_i и cF_i – коэффициенты теплопроводности и теплоемкости i -го слоя; T_k – период k -й гармоники колебаний температуры воздуха: годовой ($k = 1$), 11-суточной ($k = 2$), суточной ($k = 3$); $A0_k$ – полуамплитуды k -й гармоники колебаний температур воздуха, принимаются либо по данным изысканий, либо $A0_1$ (среднемесячная температура воздуха самого холодного месяца) – из справочников по

климату, $A_{02} = 4 \text{ К}$, $A_{03} = 6 \text{ К}$; $A_{\min 0}$ – минимальная температура воздуха (абс. значение, °С) В табл. 7 и 8 приведены средние значения показателей свойств грунтов для расчета нормативных глубин промерзания (протаивания) и расчетная нормативная глубина оттаивания-промерзания.

Таблица 7

**Средние значения показателей свойств грунта
для расчета нормативных глубин промерзания (протаивания) грунтов**

Table 7

Average soil parameters for standard freezing/thawing depth

Показатели	Индекс	Ед. измерения	M110, 110	M350 350	M540, 540
Суммарная влажность	W_{tot}	д. е.	3,59	0,16	0,22
Влажность за счет незамерзшей воды	W_w	д. е.	1,29	0,06	0
Плотность скелета мерзлого грунта	$\rho_{d,f}$	г/см ³	0,23	1,80	1,64
Плотность скелета талого грунта	$\rho_{d,th}$	г/см ³	0,24	1,81	1,65
Объемная теплоемкость мерзлого грунта	C_f	Дж/(м ³ ·°С)10 ⁻⁶	2,7	2,3	2,2
Объемная теплоемкость талого грунта	C_{th}	Дж/(м ³ ·°С)10 ⁻⁶	4,0	2,9	2,8
Коэффициент теплопроводности мерзлого грунта	λ_f	Вт/(м·°С)	1,19	1,67	2,74
Коэффициент теплопроводности талого грунта	λ_{th}	Вт/(м·°С)	0,71	1,45	2,42
Температура начала замерзания грунта	T_{bf}	°С	-0,13	-0,4	-0,07

Таблица 8

Расчетная нормативная глубина оттаивания-промерзания грунтов

Table 8

Theoretical standard freezing/thawing depth

Показатели	Индекс	Ед. измерения	M110, 110	M350 350	M540, 540
Продолжительность периода отрицательных температур [13]	$t_{f,m}$	ч	5448	5448	5448
Расчетный период положительных температур [10]	$t_{th,c}$	ч	3312	3312	3312
Теплота замерзания грунта [10]	$L_{\gamma,f}$	Дж/м ³ ·10 ⁵	1,79	0,606	1,208
Теплота таяния грунта [10]	$L_{\gamma,th}$	Дж/м ³ ·10 ⁵	1,88	0,613	1,216
Нормативная глубина сезонного промерзания грунта (талый) [10]	$d_{f,n}$	м	1,9	3,5	3,5
Нормативная глубина сезонного оттаивания грунта (мерзлый) [10]	$d_{th,n}$	м	1,3	2,7	3,0

В приведенном ниже примере использован следующий разрез (сверху вниз): дорожная одежда 0,34 м; песок 0,60 м; плита пенопласта толщиной h_P ; ниже – мерзло-комковатый грунт. В тексте принят начальный вариант $h_P = 0,1$ м. В результате подбора получена зависимость значений h_P , предотвращающих растрескивание грунта насыпи под плитами пенопласта от амплитуды $A0_1$, являющейся средней температурой воздуха самого холодного месяца. Полученные результаты приведены в (табл. 9) после программы расчета.

$$A0_k := \begin{cases} (-23 \cdot K) & \text{if } k = 1 \\ (4 \cdot K) & \text{if } k = 2 \\ (6 \cdot K) & \text{if } k = 3 \end{cases} \quad i := 1..N-1 \quad \omega_k := \frac{\pi}{T_k} \quad \mu_{i,k} := \sqrt{\frac{\omega_k \cdot c F_{i+1}}{2 \cdot \lambda F}} \quad m_i := \frac{\lambda F_i}{\lambda F_{i+1} \cdot h_i}$$

$$Amin_i := \sum_{k=1}^3 \prod_{j=1}^i \frac{m_j}{m_j + \mu_{j,k}} \cdot |A0_k| \quad Amin_0 := \sum_{k=1}^3 |A0_k| \quad Amin_0 = 30K$$

28.8K
27.63
10.5
8.47
6.20
5.01

Таблица 9

**Зависимость толщины слоя из плит пенопласта (h_P)
от средней температуры воздуха самого холодного месяца ($A0_1$)**

Table 9

Foamed plastic thickness h_P vs. average air temperature $A0_1$ of the coldest month

$A0_1, ^\circ\text{C}$	$h_P, \text{м}$
-40	0,12
-35	0,09
-30	0,07
-25	0,04
-20	0,02
-15	0,002

При проектировании земляного полотна в условиях I ДКЗ по первому принципу горизонт ММГ поднимается в центральной части насыпи под ее подошву и опускается под ее откосом. Оттаивание многолетнемерзлых грунтов под откосами насыпи происходит потому, что мохоторфяной покров, являющийся естественным теплоизолятором, сжимается, а толщина слоя грунта над ним недостаточна, чтобы компенсировать термическое сопротивление мохоторфа. Торф может быть теплоизолятором только в уплотненном состоянии, когда содержит большое количество воздуха и воды. Пузырьки воздуха одинаково препятствуют теплопередаче в летнее и зимнее время года, вода же

способствует понижению температуры грунтов основания, поскольку теплопроводность льда в 4 раза выше теплопроводности воды. В зимнее время лед, имея высокую теплопроводность, способствует охлаждению грунтов, а в летнее время вода с более низкой теплопроводностью препятствует их растеплению.

В силу этих причин основание под откосом насыпи является ее «слабым местом», независимо от ее высоты [17]. Вследствие просадок оттаявших грунтов обычно наблюдается деформация откоса: в нижней его части происходит сдвиг, в верхней части откоса и в теле насыпи образуются вертикальные трещины (так называемые трещины отседания). Затем происходит обрушение верхней части откоса и постепенное разрушение насыпи (рис. 12).

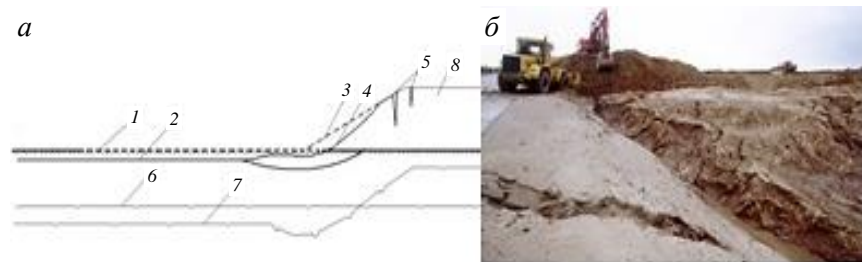


Рис. 12. Деформация насыпи в результате просадки оттаявшего основания под ее откосом (а): 1 – поверхность до сооружения насыпи; 2 – поверхность после сооружения; 3 – поверхность откоса насыпи по проекту; 4 – то же после протаивания основания; 5 – трещины в теле насыпи; 6 – ВГВМ до сооружения насыпи; 7 – то же после сооружения насыпи; 8 – насыпь; разрушение земляного полотна на промышленной дороге в районе газового месторождения «Заполярье» (б)

Fig. 12. Embankment deformation after setting of thawed subgrade (a): 1 – surface before embankment construction; 2 – surface after embankment construction; 3 – embankment slope surface according to the project; 4 – after subgrade thaw; 5 – cracks in the embankment; 6 – before embankment construction; 7 – after embankment construction; 8 – embankment; subgrade failure nearby the Zapolyarnoye gas field (b)

На устойчивость насыпи также влияет нарушение в процессе строительства мохорастительного покрова вдоль насыпи в зоне, примыкающей к ее подошве: тепловые потоки беспрепятственно перемещаются к основанию насыпи, способствуя повышению температуры многолетнемерзлых грунтов. Кроме того, в результате деградации мерзлоты происходит вытаивание льда, что может привести к обводнению сооружения. Если влага, присутствующая в торфе, способствует сохранению мерзлоты, то вода, стоящая около насыпи, вызывает обратный эффект: в летнее время под воздействием солнечной радиации вода нагревается и отепляет грунт. Если же вдоль насыпи рельеф имеет уклон, то достаточно часто наблюдается размыв с образованием канав, разрушающих откосы (рис. 12, б).

Поскольку в районе проложения трассы автомобильной дороги присутствуют грунты сильно и чрезмерно пучинистые и, соответственно, чрезмерно просадочные (относительная осадка 0,6–1,0 [2]), необходимо уменьшить талую зону откосной части насыпей до минимально возможных размеров укреплени-

укрепления откосной части насыпи с применением комплексного метода, сочетающего теплоизоляцию и армирование, представлен на рис. 13.

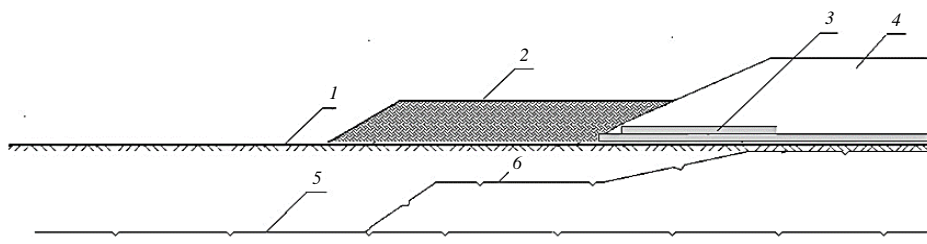


Рис. 13. Применение теплоизолирующего материала для уменьшения глубины оттаивания основания земляного полотна, сложенного сильнопросадочным грунтом при оттаивании:

1 – поверхность до сооружения насыпи; 2 – берма (растительный грунт или торф, закрепленный геосинтетическим материалом); 3 – теплоизолятор; 4 – насыпь; 5 – ВГММГ до сооружения насыпи; 6 – то же после сооружения насыпи

Fig. 13. Heat-insulating material for thawing depth reduction of the subgrade composed of highly shrinkable soil:

1 – surface before embankment construction; 2 – vegetative soil or peat fixed with geosynthetic material; 3 – heat insulator; 4 – embankment; 5 – before embankment construction; 6 – after embankment construction

Для предотвращения размывов вдоль насыпи предлагается закрепление растительного грунта при помощи геосинтетического материала в виде бермы и посева трав. Использование неуплотненного торфа толщиной не менее 0,3 м вместо растительного грунта создаст теплоизоляционный эффект, и берма будет выполнять две функции: теплоизоляции и закрепления грунта.

Рекомендации

1. На участках трассы автомобильной дороги до кустовой площадки № 11 со сливающейся мерзлотой земляное полотно следует проектировать по первому принципу, предусматривающему обеспечение верхнего горизонта многолетнемерзлых грунтов не ниже подошвы насыпи и с сохранением его в течение периода эксплуатации дороги. Строительство автомобильной дороги вести только в зимний период из несцементированных грунтов.

2. На участках трассы автомобильной дороги до кустовой площадки № 11 с несливающейся мерзлотой земляное полотно проектировать по третьему принципу, предусматривающему расчистку полосы отвода дороги с сохранением ее в течение не менее года для опускания островной мерзлоты. Земляное полотно автомобильной дороги проектировать по правилам II дорожно-климатической зоны с соблюдением типа местности по степени увлажнения.

3. Присутствие по трассе автомобильной дороги мерзлых суглинистых грунтов позволяет применять в основании земляного полотна мерзло-комковатые грунты с обязательным устройством гидротеплоизолирующих слоев.

4. Во избежание появления в верхней части откоса и в теле насыпи трещин отседания, приводящих к обрушению откоса и дальнейшему разрушению насыпи, необходимо уменьшать талую зону откосной части насыпей до ми-

нимально возможных размеров укреплением подошвы откоса земляного полотна как снаружи, так и внутри теплоизолирующими материалами.

5. Не допускать рекультивации земель в зоне строительства дороги во избежание эрозии почвенного покрова.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *География Ямала* // Правительство ЯНАО : [сайт]. URL: <https://yanao.ru/region/obshchie-svedeniya/#geography> (дата обращения: 24.10.2023).
2. *СП 34.13330.2021*. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85. Москва : Минстрой России, 2021. 151 с.
3. *Ямало-Ненецкий автономный округ* // Знание : Российское общество: [сайт]. URL: <https://znanierussia.ru/articles/> (дата обращения: 24.10.2023).
4. *Обустройство кустовой площадки № 11 Северо-Комсомольского месторождения* : технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной, рабочей документации. АО «ТомскНИПИнефть». Томск, 2018. 258 с.
5. *Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях* / под ред. В.А. Кудрявцева. Москва : Изд-во МГУ, 1989. 143 с.
6. *Геофизические методы исследования криолитозоны*. Москва : Изд-во МГУ, 2007. 272 с.
7. *Геокриология СССР*. Западная Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова [и др.]. Москва : Недра, 1989. 454 с.
8. *СП 34.13330.2021*. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85*. Москва : Минстрой России, 2021. 151 с.
9. *СП 115.13330.2016*. Свод правил. Геофизика опасных природных воздействий. Москва : Минстрой России, 2016. 36 с.
10. *СП 25.13330.2020*. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. СНиП 2.02.04–88. Москва : Минстрой России, 2022. 153 с.
11. *СП 86.13330.2022*. СНиП III-42–80* Магистральные трубопроводы. Москва : Минстрой России, 2022. 147 с.
12. *СП 313.1325800.2017*. Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства. Москва : Минстрой, 2017. 133 с.
13. *СП 131.13330.2020*. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99*. Москва : Минрегион России, 2021. 116 с.
14. *Методические рекомендации по проектированию и строительству земляного полотна в зоне вечной мерзлоты с использованием разрыхленных мерзлых грунтов, сохраняемых в мерзлом состоянии во время эксплуатации (для опытно-экспериментального строительства)*. Москва : Минтранс России, 2003. 31 с.
15. *ГОСТ 10354–82*. Пленка полиэтиленовая. Москва : Стандартинформ, 2007. 82 с.
16. *Ашпиз Е.С., Хрусталева Л.Н., Ведерникова М.А., Емельянова Л.В.* Использование синтетических теплоизоляторов для сохранения мерзлотных условий в основании железнодорожной насыпи // Криосфера Земли. 2008. Т. 12. № 2. С. 84–89.
17. *Анализ температурного режима вечномерзлых грунтов оснований мостовых опор в условиях полигона на разъезде 15 и на мостах ж. д. линии Обская-Бованенково. Этап 1. Исследование охлаждающего влияния термоопор* // Отчет о научно-исследовательской работе ОАО ЦНИИС, Центральная лаборатория инженерной теплофизики. Москва, 2010.

REFERENCES

1. Yamal geography Available: <https://yanao.ru/region/obshchie-svedeniya/#geography> (accessed October 24, 2023). (In Russian)
2. SP 34.13330.2021. Automobile roads. Moscow: Minstroy Rossii, 2021. 151 p. (In Russian)
3. The Yamal-Nenets Autonomous District. Available: <https://znanierussia.ru/articles/> (accessed October 24, 2023). (In Russian)
4. Development of cluster pad 11 in the Severo-Komsomolsk field: Technical report. AO "TomskNIPIneft". Tomsk, 2018. 258 p. (In Russian)

5. Kudryavtsev V.A. (Ed.) Basics of permafrost prediction in geotechnical studies. Moscow: MSU, 1989. 143 p. (In Russian)
6. Geophysical methods in cryogenic territory investigation. Moscow: MSU, 2007. 272 p. (In Russian)
7. Ershov E.D., et al. (Eds.) Geocryology of the USSR. Western Siberia. Moscow: Nedra, 1989. 454 p. (In Russian)
8. SP 34.13330.2021. Code specification. Motorways. Moscow: Minstroï Rossii, 2021. 151 p. (In Russian)
9. SP 115.13330.2016. Code specification. Geophysics of natural hazards. Moscow: Minstroï Rossii, 2016. 36 p. (In Russian)
10. SP 25.13330.2020. Foundations and footings on permafrost soils. Moscow: Minstroï Rossii, 2022. 153 p. (In Russian)
11. SP 86.13330.2022. SNiP III-42–80* Main pipelines. Moscow: Minstroï Rossii, 2022. 147 p. (In Russian)
12. SP 313.1325800.2017. Automobile roads in permafrost areas. Design and construction rules. Moscow: Minstroï, 2017. 133 p. (In Russian)
13. CP 131.13330.2020. Code specification. Construction climatology. Moscow: Minregion Rossii, 2021. 116 p. (In Russian)
14. Methodological recommendations for design and construction of earthwork in permafrost zone using loosened permafrost soils in permafrost state during operation (for experimental construction). Moscow: Mintrans Rossii, 2003. 31 p. (In Russian)
15. GOST 10354–82. Polythene film. Moscow: Standartinform, 2007. 82 p. (In Russian)
16. Ashpiz E.S., Khrustalev L.N., Vedernikova M.A., Emel'yanova L.V. Synthetic thermal insulators for railway embankments in permafrost conditions. Kriosfera Zemli. 2008; 12 (2): 84–89. (In Russian)
17. Temperature analysis of permafrost soils of bridge piers bases on road 15 and bridges of the Obskaya–Bovanenkovo railway line. Stage 1. Cooling effect of thermal supports. Moscow, 2010. (In Russian)

Сведения об авторах

Бычков Олег Анатольевич, канд. геол.-мин. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, jarilo1962@yandex.ru

Пушкарева Галина Вениаминовна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kedrik42@mail.ru

Authors Details

Oleg A. Bychkov, PhD, A/professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, jarilo1962@yandex.ru

Galina V. Pushkareva, PhD, A/professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kedrik42@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.09.2023
Одобрена после рецензирования 16.10.2023
Принята к публикации 09.11.2023

Submitted for publication 28.09.2023
Approved after review 16.10.2023
Accepted for publication 09.11.2023