

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Родькина И.А. Инженерно-геологическое обоснование проектных решений в аэропортах арктической зоны территории РФ (на примере аэропорта г. Мурманск) // Арктика и Антарктика. 2025. № 4. С. 159-176. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.4.76719 EDN: FZTUYK URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=76719

Инженерно-геологическое обоснование проектных решений в аэропортах арктической зоны территории РФ (на примере аэропорта г. Мурманск)

Родькина Ирина Алексеевна

ORCID: 0000-0002-1441-5843

кандидат геолого-минералогических наук

Научный сотрудник; кафедра инженерной и экологической геологии; МГУ имени М.В. Ломоносова;
Геологический факультет

119234, Россия, г. Москва, р-н Раменки, тер. Ленинские Горы, д. 1



irina-rodkina2007@yandex.ru

[Статья из рубрики "Инженерная геология холодных равнинных и горных регионов"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.4.76719

EDN:

FZTUYK

Дата направления статьи в редакцию:

11-11-2025

Дата публикации:

26-11-2025

Аннотация: Аэропорт сложное и особо ответственное инженерное сооружение. Строительство, которого, может проходить в любых, очень часто сложных инженерно-геологических условиях. В задачи инженер-геологов входит не только инженерно-геологические изыскания и написание сводных отчетов, но и рекомендации по искусственному управлению свойствами грунтов для того, чтобы их можно было использовать в инженерно-хозяйственной деятельности человека. Достаточно часто при обнаружении неблагоприятных для строительства грунтов проектировщики предлагают их срезку и замену другими, что не всегда экономически обосновано. Однако добиться стабилизации грунтового основания можно менее затратными способами:

использованием методов технической мелиорации грунтов и инженерной защиты территорий. В данной статье дается инженерно-геологическое обоснование применения методов технической мелиорации для стабилизации грунтового основания при реконструкции аэропорта, расположенного в арктической зоне в отсутствии мерзлых грунтов в основании (на примере аэропорта г. Мурманск). Методология разработки комплексов инженерной защиты территории аэропорта г. Мурманск включает анализ нормативных документов, анализ результатов инженерно-геологических изысканий, анализ методов технической мелиорации грунтов, рекомендуемых в связи с данными инженерно-геологических изысканий, методику проектирования, положительный опыт применения решения на аналогичных объектах. Научная новизна работы: 1) разработана методика инженерно-геологического обоснования комплекса инженерной защиты территории для стабилизации грунтового основания территории аэропорта г. Мурманск для строительства и реконструкции линейных сооружений основанная на анализе нормативных документов, проектных решений, инженерно-геологической информации и методе аналогий; 2) обоснован комплекс инженерной защиты территории аэропорта г. Мурманск направленный на стабилизацию грунтового основания. Выводы: При стабилизации грунтового основания под ИВПП, РД, перроны и т.д. аэропорта г. Мурманск необходимо применять комплекс инженерной защиты территории, включающий в себя механические, физико-химические методы, а также методы стабилизации грунтового основания геосинтетическими материалами. Исходя из инженерно-геологических условий территории и особенностей аэропортового строительства (щелочная среда), оптимальным будет применение геокомпозитов из ПВС-сырья, что также подтверждается экономической выгодой.

Ключевые слова:

Природно-техническая система, Аэропорт, Арктическая зона, стабилизация грунтового основания, геокомпозит, геосинтетические материалы, инженерная защита территорий, техническая мелиорация, поливинилспирт, аэродром

Введение

По данным на 2025 год на территории РФ расположено 228 аэропортов, 83 из которых международные и еще 10 федерального значения. К 2030 году в рамках федерального проекта «Развитие опорной сети аэродромов» количество аэропортов должно увеличиться до 242. Модернизация будет проведена в 129 аэропортах (до 2027 года – 77). Капитальный ремонт запланирован на 53 из них. На остальных 76 будет производиться реконструкция и осуществляться новое строительство.

Многие регионы Севера не имеют развитой дорожной и железнодорожной сети, поэтому в арктической зоне авиация становится единственным доступным видом транспорта, обеспечивающим не только сообщение между городами и регионами, но также снабжение жизненно необходимыми вещами: продуктами, лекарствами, топливом и т.д.

Аэропорт относится к инженерному сооружению особой важности, так как является объектом инфраструктуры воздушного транспорта, который относится к особо опасным и технически сложным объектам. Строительство аэропортов Арктики происходит практически всегда в очень сложных инженерно-геологических условиях. В таких условиях, для недопущения ошибок проектирования, проектировщик должен работать «рука об руку» с инженер-геологом на всех этапах: выбор места расположения

аэропорта, предпроектная документация, проектная документация, рабочая документация, авторский надзор.

Первое с чем сталкиваются инженер-геологи при строительстве в арктической зоне – это наличие или отсутствие многолетнемерзлых грунтов.

В данной работе рассматриваются возможные инженерные решения при отсутствие в грунтовом основании мерзлых грунтов.

Таким образом, целью данной работы является инженерно-геологическое обоснование проектных решений в арктической зоне (на примере аэропорта г. Мурманск) при отсутствии в подстилающих грунтах многолетнемерзлых пород.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- 1) Дать характеристику объекта исследования с выделением специфических грунтов и неблагоприятных для функционирования аэропорта инженерно-геологических процессов;
- 2) Оценить эффективность предлагаемых проектных решений по возможной стабилизации грунтового основания;
- 3) Исходя из инженерно-геологических условий территории обосновать эффективное решение по стабилизации грунтового основания.

Научная новизна работы:

- 1) разработана методика инженерно-геологического обоснования комплекса инженерной защиты территории для стабилизации грунтового основания территории аэропорта г. Мурманск для строительства и реконструкции линейных сооружений основанная на анализе нормативных документов, проектных решений, инженерно-геологической информации и методе аналогий;
- 2) обоснован комплекс инженерной защиты территории аэропорта г. Мурманск направленный на стабилизацию грунтового основания.

Данная работа чрезвычайно актуальна в связи с развитием федеральной программы «Развитие опорной сети аэродромов» и может быть интересна широкому кругу специалистов инженер-геологов, проектировщиков, а так же непосредственно подрядчикам и заказчикам объектов реконструкции, строительства и ремонта аэродромов.

Характеристика объекта исследования. Аэропорт Мурманска находится в атлантико-арктической зоне умеренного климата. Благодаря влиянию Гольфстрим, а точнее его продолжению теплому Северо-Атлантическому течению на исследуемой территории многолетнемерзлые породы отсутствуют. Глубина сезонного промерзания-протаивания составляет более 2 м (рис. 1).

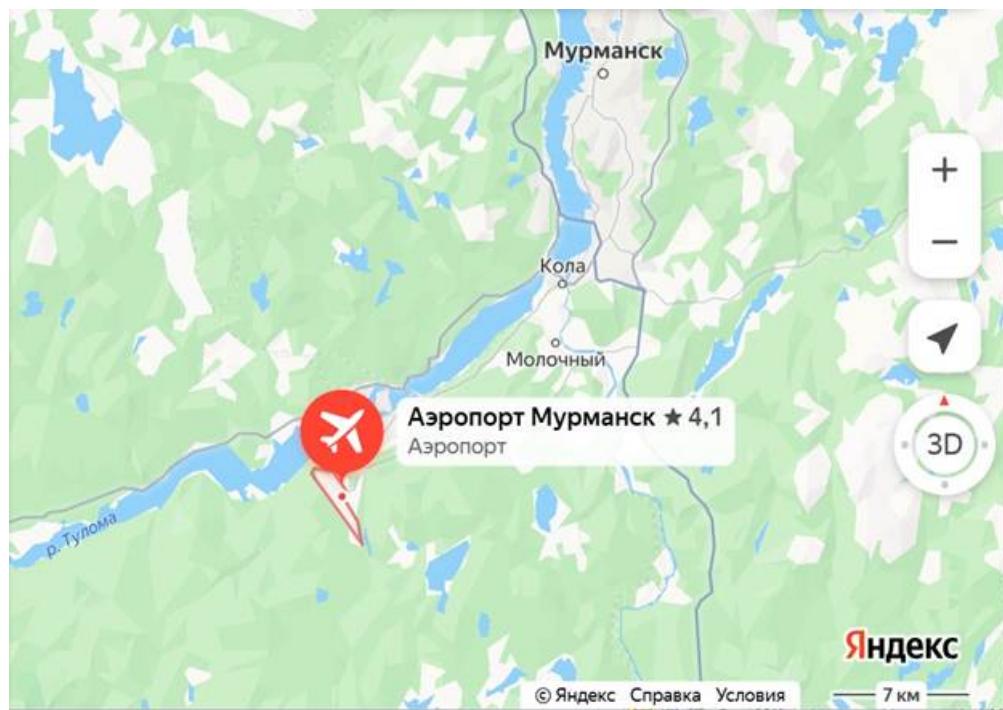


Рис.1. Карта-схема расположения аэропорта г. Мурманск

В геолого-тектоническом отношении территория аэропорта приурочена к одной из самых древних геологических структур, расположенных на территории РФ, а именно к Балтийскому щиту.

В геологическом строении участвуют слабовыветрелые породы архея, представленные гранито-гнейсами, перекрытые четвертичными флювиогляциальными, морскими отложениями и торфами.

По данным инженерно-геологических изысканий выделены следующие инженерно-геологические элементы (см. рис. 2) [1] :

слой-П - почвенно-растительный слой, залегает с поверхности земли; мощность слоя составляет от 0,30м до 0,40м; подстилается грунтами слоя – 1, 2.

слой-Н1 (tQIV) – насыпной грунт: щебенистый грунт с песчаным заполнителем до 20%, плотный, водонасыщенный, слежавшийся; в интервале глубин от 0,00 м до 1,10-1,30 м; мощность слоя составляет от 1,10м до 1,30м; залегает с поверхности земли; подстилается грунтами слоя – Н2.

слой-Н2 (tQIV) – насыпной грунт: разнородный крупнообломочный грунт: галька, гравий, щебень темно-серого гранито-гнейса с песчаным заполнителем до 30 %, включениями валунов, плотный, влажный; вскрыт скважинами в интервале глубин от 0,00-1,80 м до 0,60-6,00 м. Мощность слоя составляет от 0,40 м до 4,20 м. Грунт залегает с поверхности земли, либо перекрыт перемещенным почвенно-растительным слоем, либо грунтами перекрыт грунтами слоя Н1. Подстилается грунтами слоев – 1, 2, 4, 6, 7, 8.

слой-1 (bIV) – торф коричневый, бурый, слаборазложившийся, нормальнозольный, водонасыщенный; вскрыт скважинами в интервале от 0,30-1,80 м до 0,80-2,50 м; мощность слоя составляет от 0,40м до 0,90м; перекрыт слоем П и Н2; подстилается грунтами слоя - 2, 4, 7.

слой-2 (mIV) – песок серый, пятнами коричневый пылеватый средней плотности водонасыщенный с включением гальки, гравия от 5 до 10 %; вскрыт скважинами в

интервале от 0,50-4,30 м до 1,90-6,30 м; мощность слоя составляет от 0,70м до 2,90м; перекрыт слоем П , Н2, 1, 6; подстилается грунтами слоя – 4, 5, 7.

слой-3 (mIV) – песок серый среднезернистый плотный водонасыщенный с включением гальки, гравия до 10 %, прослойми серого мелкозернистого песка; вскрыт скважиной интервале от 1,80м до 6,00 м; мощность составляет 4,20м; перекрыт слоем Н1; подстилающие грунты не вскрыты.

слой-3а (mIV) – песок серый крупнозернистый плотный водонасыщенный с включением гальки, гравия до 20 %; вскрыт скважинами 209-212 в интервале от 8,10-8,70 м до 10,00 м; мощность слоя составляет от 1,30м до 1,90м; перекрыт слоем 4; подстилающие грунты не вскрыты.

слой-4 (mIV) – суглинок серый легкий опесчаненный мягкопластичный водонасыщенный с прослойми серой пластичной супеси мощностью до 20 см; вскрыт скважинами в интервале от 0,00-6,10 м до 1,70-9,40 м; мощность слоя составляет от 0,70м до 5,80м; вскрыт с поверхности или перекрыт слоями Н2, 1, 2; подстилается грунтами слоев 2, 5, 6, 8.

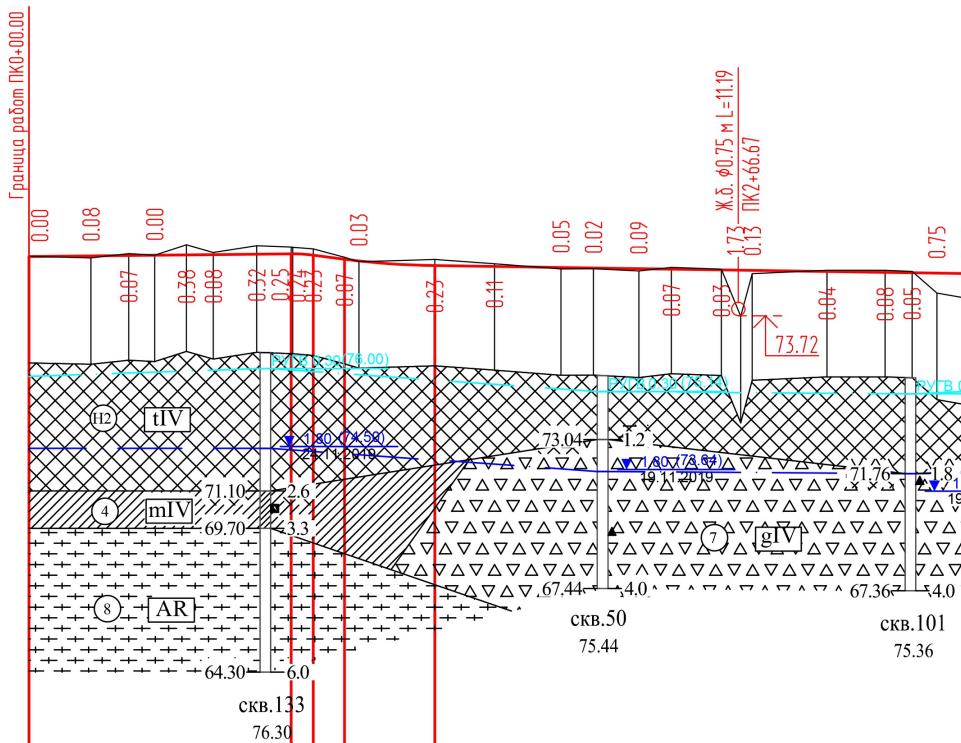
слой-4а (mIV) – супесь зеленовато-серая пылеватая пластичная с включениями щебня, дресвы, гальки до 20%; вскрыт скважинами в интервале глубин от 0,30-2,70 м до 1,10-5,00 м; мощность грунта составляет от 0,70м до 2,50м; перекрыт грунтами почвенно-растительного слоя, слоев 1, 2; подстилается грунтами слоев 6,7,8.

слой-5 (mIV) - суглинок серо-зеленый, серый легкий опесчаненный текучепластичный водонасыщенный с линзами песка серого пылеватого водонасыщенного мощностью до 20 см; вскрыт скважинами в интервале от 0,80-8,90 м до 2,50-10,60 м; мощность слоя составляет от 1,50м до 7,30м; перекрыт слоями Н2, 2; подстилается грунтами слоя – 4, 6, 8.

слой-6 (mIV) – гравийно-галечниковый грунт с включением валунов с песчанным заполнителем до 20 %, серый плотный, водонасыщенный с прослойми супеси серой пластичной мощностью 5-20 см; вскрыт скважинами в интервале от 0,90-4,90 м до 2,50-6,00 м; мощность слоя составляет от 0,50м до 18.00м; перекрыт слоем Н1, Н2, 4, 5; подстилается слоем-2,8.

слой-7 (gIV) – дресвяно-щебенистый грунт с песчанным заполнителем до 30 % серый плотный водонасыщенный; вскрыт скважинами в интервале от 0,60-3,20 м до 2,80-12,0 м; мощность слоя составляет от 0,80 м до 6,50 м; перекрыт слоем Н2, 1, 2, 4, 5, подстилается слоем-8.

слой-8 (AR) – гранито-гнейс серый мелкозернистый очень прочный плотный слабовыветрелый нетрециноватый; вскрыт скважинами в интервале от 0,80-10,60 м до 6,00-13,00 м; вскрытая мощность слоя составляет от 0,60 м до 8,10 м; перекрыт слоем Н2, 4, 6.



№ ИГЭ	Наименование инженерно-геологического элемента (ИГЭ)	Стратиграфический индекс	Группа грунта по твёрдости разработки
П	Почвенно-растительный слой	eIV	96
1	Торф сладоразложившийся нормальнозольный водонасыщенный	bIV	37а
2	Песок пылеватый неоднородный водонасыщенный средней плотности	mIV	29а
4	Суглинок легкий пылеватый мягкопластичной консистенции непросадочный незасоленный ненабухающий	mIV	35а
5	Суглинок легкий пылеватый текучепластичной консистенции непросадочный незасоленный ненабухающий	mIV	35б
7	Дресвяно-щебенистый грунт неоднородный сладобывающийся малопрочныи с песчаным заполнителем до 30% водонасыщенный	gIV	6а
8	Гранито-гнейс очень прочный очень плотный сладобывающийся неразмягчаемый	AR	19в
H2	Насыпной грунт: разнородный крупнообломочный грунт (галька, гравий, щебень) неоднородный сладобывающийся малопрочныи с песчаным заполнителем до 30% с включениями валунов	tIV	6а

Рис.2. Схематический инженерно-геологический разрез территории аэропорта г. Мурманск (фрагмент). Соотношение масштабов горизонтального к вертикальному 1:10 [1]

При бурении скважин в октябре-ноябре 2019 г. на участке изысканий грунтовые воды были вскрыты практически всеми скважинами, за исключением скважин с близким залеганием гранито-гнейса, и установились на глубине 0,70-2,70 м. Водовмещающими породами являются трещиноватые кристаллические породы (AR-PR) а и четвертичные отложения гляциального (gQIII), морского (mQIV) и техногенного генезиса (tQIV). Воды четвертичных отложений и верхней трещиноватой зоны кристаллических пород гидравлически взаимосвязаны и образуют единый горизонт грунтовых вод. Подземные воды в большинстве безнапорные или с локальным напором, не минерализованные. Водоупором служат не выветрелые скальные породы (AR)^[1]. Питание подземных вод происходит за счет атмосферных осадков, разгрузка в местную очень развитую

гидрологическую сеть. Непосредственно рядом с аэропортом есть 2 заболоченных участка и пожарный пруд. По территории аэропорта проходит несколько малых рек.

Соответственно исходя из анализа данных проведенных изысканий можно утверждать, что на территории аэропорта будут развиваться следующие неблагоприятные инженерно-геологические процессы: подтопление территории и морозное пучение. Из специфических, а следовательно, требующих дополнительных мер инженерной защиты, грунтов на территории присутствуют торфяные и гляциальные грунты.

Предлагаемые проектные решения

В первом варианте проекта предусматривалась частичная замена грунтов основания (торфяные, и частично гляциальные), что предусматривает достаточно существенный объем земляных работ, а так же привозной грунт с нужными свойствами (см. рис. 3). Для минимизации подтопления территории предлагалась организация водопропускных труб и дренажных лотков, а также система дренажных (ливневых) колодцев не большой глубины заложения [11] (рис. 4).

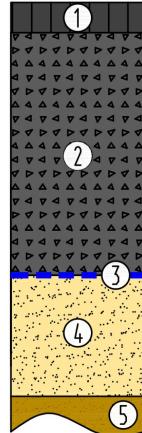
№ варианта	№ слоя	Модули упругости			Толщина слоя, Σ	Схема конструкции	Стоимость 1 м ² в ценах на 3 квартал 2020 г.
		упругий прогиб E1, МПа	сдвиг E2, МПа	изгиб E3, МПа			
Вариант 1 (рекомендуемый)	1	Асфальтобетон горячий плотный мелкозернистый тип Б марки II по ГОСТ 9128-2013 на битуме БНД 90/130 по ГОСТ 22245-90 E1=2400.00, E2=1200.00, E3=3600.00			5.0		
	2	Щебень легкоуплотняемый M800 (40-80 мм) с заклинкой фракционированным мелким щебнем			40.0		
	3	Разделительная прослойка из геотекстиля					
	4	Песок II класса повышенной крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции не более 5%, с Кф не менее 1 м/сут по ГОСТ 8736-2014			20.0		
	5	Грунт земляного полотна – Разнородный крупнообломочный грунт (галка, гравий, щебень) с песчаным наполнителем до 30% с включением валунов или дресвяно-щебенистый грунт с включением валунов с песчаным наполнителем до 30% водонасыщенный					2306.17
				$h_{общ} = 0.65$			
Срок службы		12 лет		Коэф. надежности 0.85			

Рис. 3. Первый вариант проектных решений [11]. Схема конструкции аэродромной одежды

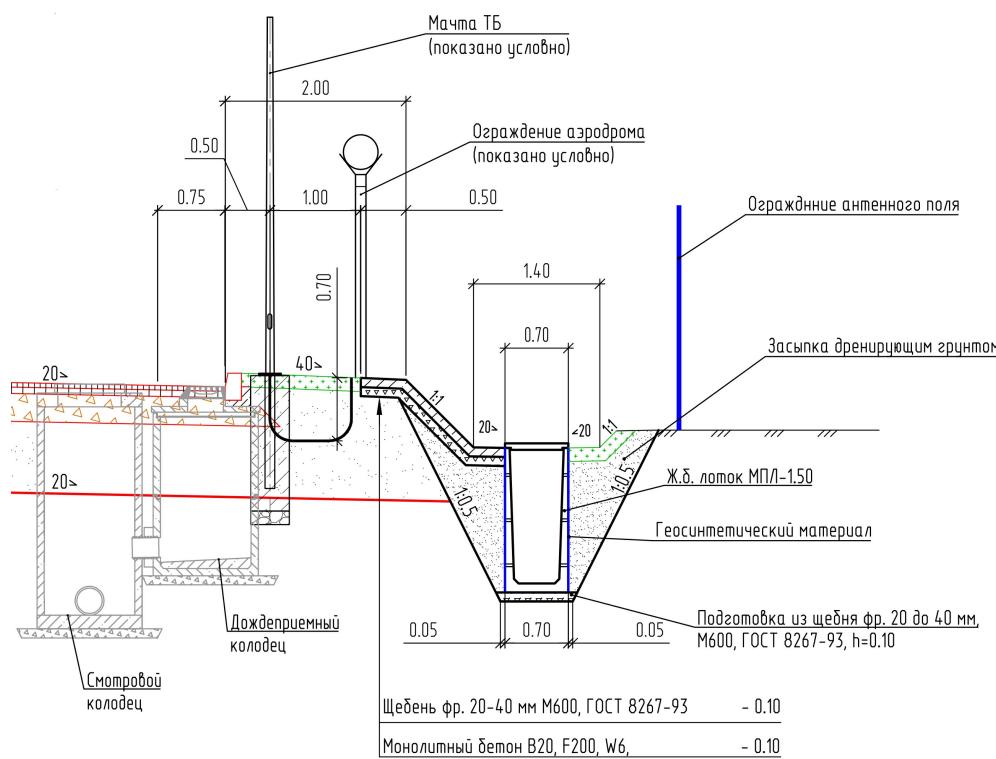


Рис. 4 Конструкция закрытого ж.б. лотка [11]

Затем для минимизации земляных работ и как следствие удешевление проекта, было предложено модифицировать местные грунты специальными вяжущими добавками на основе цемента с комплексными вяжущими (КМВ) на глубину 68 см [2-5] (рис. 5).

Наименование слоёв и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см
1. Конструктивный слой № 1 — Асфальтобетон SP-11 или тип А на битумном вяжущем PG 58-Y	
2. Конструктивный слой № 2 — Гравийно-песчаные и крупнообломочные грунты, укреплённые КМВ по прочности соответствующие марке 40	
3. Конструктивный слой № 3 — Грунт существующий, укреплённый КМВ, по прочности соответствующие марке 20	
Грунт земляного полотна — Грунт	

Рис.5. Второй вариант проектных решений. Схема конструкции аэродромной одежды (составлено Иванкиным Н.В.)

Вопросы по предлагаемым проектным решениям

Глубина заложения дренажной сети выше глубины сезонного промерзания (см. рис. 4), соответственно такое проектное решение приведет к очень быстрому выходу из строя (один сезон) всей дренажной сети.

Для рекомендации замены грунтов основания необходимо учитывать модуль упругости,

который или не определялся, или по ошибке не был указан в проектной документации [\[1\]](#).

При модифицировании местных грунтов гидравлическими вяжущими на основе цемента с модифицирующими добавками так же возникает ряд вопросов:

- химический состав модифицирующих добавок не будет ли негативно влиять на окружающую среду, распространяясь по гидрологической и гидрогеологической сетям;
- схема взаимодействия добавок с цементом не ясна, цемент твердеет при гидратации, т.е. будет происходить изменение влажности грунтов, что окажет влияние опять таки на гидрогеологическую и гидрологическую сети;
- при твердении цемента среда становится сильно щелочной рН=11, не вызовет ли это локальное защелачивание рек и водоносных горизонтов, влияние на окружающую среду, выщелачивание подстилающих грунтов, изменение температурного режима;
- скорость твердения модифицированного грунта – успеют ли 68 см полностью затвердеть (прореагировать) до начала перехода температуры воздуха и грунтов через 0;
- глубина сезонного промерзания значительно превосходит мощность модифицированного грунта, соответственно процесс морозного пучения не удастся полностью нейтрализовать. При этом увеличение мощности модифицированного грунта приведет к необоснованному увеличению объемов работ и количеств гидравлических вяжущих, что в свою очередь ведет к существенному удорожанию проекта.

Оптимальное решение и его инженерно-геологическое обоснование

Методология разработки комплексов инженерной защиты территории должна включать анализ нормативных документов, анализ результатов инженерно-геологических изысканий, анализ методов технической мелиорации грунтов, рекомендуемых в связи с данными инженерно-геологических изысканий, методику проектирования, положительный опыт применения решения на аналогичных объектах. Цель – предотвратить отрицательное воздействие опасных геологических, экологических и других процессов на территории, здания и сооружения, а также защитить от их последствий.

Для минимизации или полного исключения негативных по отношению к устойчивости технического сооружения геологических процессов рекомендуется использовать следующие методы технической мелиорации и инженерной защиты территории (см. табл. 1).

Таблица 1.

Методы технической мелиорации и инженерной защиты территории при строительстве аэропортов и их эколого-геологические последствия (фрагмент) [\[6\]](#)

Неблагоприятные территории для размещения аэропортов (по СП 121.13330.2019)	Параметр (по СП 121.13330.2019)	Методы технической мелиорации и инженерной защиты территории (по СП 121.13330.2019 и [7])	Эколого-геологические последствия
Торфы, заторфованные и	Модуль упругости < 5 МПа	Обжатие насыпью до консолидации	Понижение уровня грунтовых вод, что

слабые глинистые грунты			может приводить к возгоранию торфяников
Пучинистые грунты (сезонное промерзание)	1) глинистые грунты к началу промерзания имеют показатель текучести $I_L > 0$	Инженерно-мелиоративные (тепломелиоративные, гидромелиоративные)	Понижение уровня грунтовых вод
	2) уровень подземных вод ниже глубины промерзания, м, менее чем на: 1,0 – для песков мелких; 1,5 – для песков пылеватых, супесей; 2,5 – для суглинков, крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем; 3,0 – для глин	Конструктивные	Изменение теплового режима грунтов
		Физико-химические	Изменения химического состава грунтов, грунтовых вод, почв и фитоценоза
		Комбинированные	Понижение уровня грунтовых вод, изменение теплового режима грунтов, изменения химического состава грунтов, грунтовых вод, почв и фитоценоза

В данном случае требуется стабилизация грунтового основания и снижение процессов подтопления территории. Минимизировать подтопление территорий можно комплексом методов: заглубление дренажной сети ниже глубины сезонного промерзания и возведение достаточно высокой щебенчатой (дренажной) подушки под сооружениями (аэропорт Пермь, Новый Уренгой и др.), рассчитывается исходя из уровня грунтовых вод и глубины сезонного промерзания.

Что касается стабилизации грунтового основания, есть несколько способов добиться этого [8, 9]:

1) механические: уплотнение грунта для повышения его прочности (тромбование, укатывание, виброуплотнение и т.д.), применение регламентировано СП 121.13330.19, применяется практически всегда в комплексе с другими методами стабилизации, так как применением только этого способа не удается добиться полной стабилизации;

2) физико-химические: введение в грунт различных растворов и вяжущих с целью изменения прочностных свойств (портландцемент, силикатное стекло, битумы, смолы и т.д.). Достаточно сложны в использовании так как требуют очень сложных и точных расчетов, а так же точному следованию инструкциям и сверхточное соблюдение технологического процесса. Помимо этого необходим прогноз и мониторинг экологических последствий при внесении в грунты новых активных химических

соединений, при чем, чаще всего в жидкой или гелеподобной форме [7], о чём говорилось ранее;

3) армирование грунтового основания с применением геосинтетических материалов [9].

Как показывает опыт и практика, добиться стабилизации грунтового основания одним из способов обычно не представляется возможным, поэтому рекомендуется использовать комплекс методов. Безусловно, всегда применяется и даже регламентируется механическое уплотнение: подстилающие грунты выравниваются и уплотняются до коэффициента от 0,95 до 1.

Физико-химические методы, прописанные в данном проектном решении, так же могут быть применены при условии снятия ряда вопросов, изложенных выше.

Однако, применение только этих методов не достаточно для полной стабилизации грунтового основания, что подтверждается расчетами, а также значениями глубины сезонного промерзания.

Опыт применения геосинтетических материалов при строительстве и реконструкции аэродромной и дорожной инфраструктуры в России насчитывает более 30 лет. За эти годы сформировались правила применения геосинтетических материалов, которые регламентируют необходимость определения вида геосинтетика, химического состава сырья, способа установки или укладки и произведения расчетов в зависимости от типа инженерной задачи, желательно по нескольким методикам (Plaxis, Huesker Stability и др). Соответственно, правильно подобранными геосинтетиками не только стабилизируют грунтовое основание, но и существенно снижают объемы земляных работ, тем самым обуславливая экономическую выгоду. Помимо этого, с точки зрения воздействия на окружающую среду правильно подобранные геосинтетические материалы абсолютно нейтральны (инертны к агрессивному воздействию), и не требуют экологического обоснования их применения.

Известно, что геосинтетические материалы, используемые для стабилизации грунтового основания бывают трех типов: георешетки (или геосетки), геоткани и гекомпозиты.

Георешетки представляют из себя гибкую двухмерную структуру из полимера, места пересечения решетки прочно скреплены склеиванием, экструзией или термическим способом.

Геоткань – ткань изготовленная вязально-прошивным способом из полимерных нитей разной прочности, переплетённых между собой под прямым углом.

Гекомпозит – гибкая георешетка с прикрепленной (пришитой) к ней нетканной подложкой. Силовая решетка работает как армирующий (стабилизирующий) слой, с одной стороны распределяя нагрузку от ВС на подстилающие грунты, а с другой стороны снижает (стабилизирует) возможные деформации (пучение, набухание, просадочность) самих грунтов. Нетканая подложка служит разделением слоев аэродромной одежды, предотвращая кольматацию и суффозию между подстилающими грунтами и выше лежащими слоями аэродромной одежды (чаще всего это щебень, уложенный методом «расклинивания»), что оптимально при возведении аэродромных покрытий.

Согласно ОДМ 218.2.046 для армирования основания рекомендуется использование геосинтетиков из следующих видов сырья: ПЭТ, ПВС, ПП. Соответственно, использование экзотических видов сырья, таких как стекловолокно или базальтовое

волокно не допустимы, по причине механической хрупкости, недостаточному сопротивлению сдвиговым, динамическим и ударным нагрузкам, не устойчивости к агрессивным средам, циклам промерзания-оттаивания и др. этих материалов [10-17].

Что касается видов сырья, рекомендованных ОДМ 218.2.046 :

- ПП-полипропилен, устойчив к агрессивным средам, не хрупкий, однако относительное удлинение при разрыве может достигать 40 Мпа, соответственно высокая ползучесть материала и низкая осевая жесткость, что не дает достичь надежной стабилизации и армирования основания аэродромного покрытия;

- ПЭТ – полиэфир, не хрупкий, гибкий материал, относительное удлинение при разрыве 12-15 % (некоторые производители указывают до 20 %, зависит от качества исходного сырья), что не желательно в аэродромном строительстве, разрушается в щелочной среде (один из способов переработки ПЭТ – щелочной гидролиз). А как известно, большинство аэродромных покрытий бетонные, соответственно при воздействии воды (атмосферные осадки, подтопление территории и т.д.) происходит выщелачивание, идет процесс растворения и выноса гидроокиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из тела бетона, что ведет к сильному повышению pH среды и разрушению (деградации) полиэфирных волокон.

ПВС – поливинилспирт, обладает следующими свойствами: материал не хрупкий, что значительно облегчает процесс укладки; относительное удлинение при номинальной прочности всего 6 %, что позволяет сразу активизировать работу материала в основании; высокая осевая жесткость и низкая ползучесть; а так же высокая устойчивость в агрессивных средах, в том числе к бетону, противообледенительным жидкостям (ПОЖ) и горюче-смазочным материалам, битумным эмульсиям, и т.д.; очень большой срок службы. [10-17]. Помимо этого материалы из ПВС обладают высокой морозостойкостью, устойчивостью к ультрафиолету и могут устанавливаться на объекте при любых погодных условиях.

Так же следует подчеркнуть, что при реконструкции аэропортов г. Минеральные воды и г. Южно-Сахалинск уже успешно применялись для стабилизации грунтового основания геосинтетические материалы, в том числе и на основе ПВС сырья (рис. 6, 7).

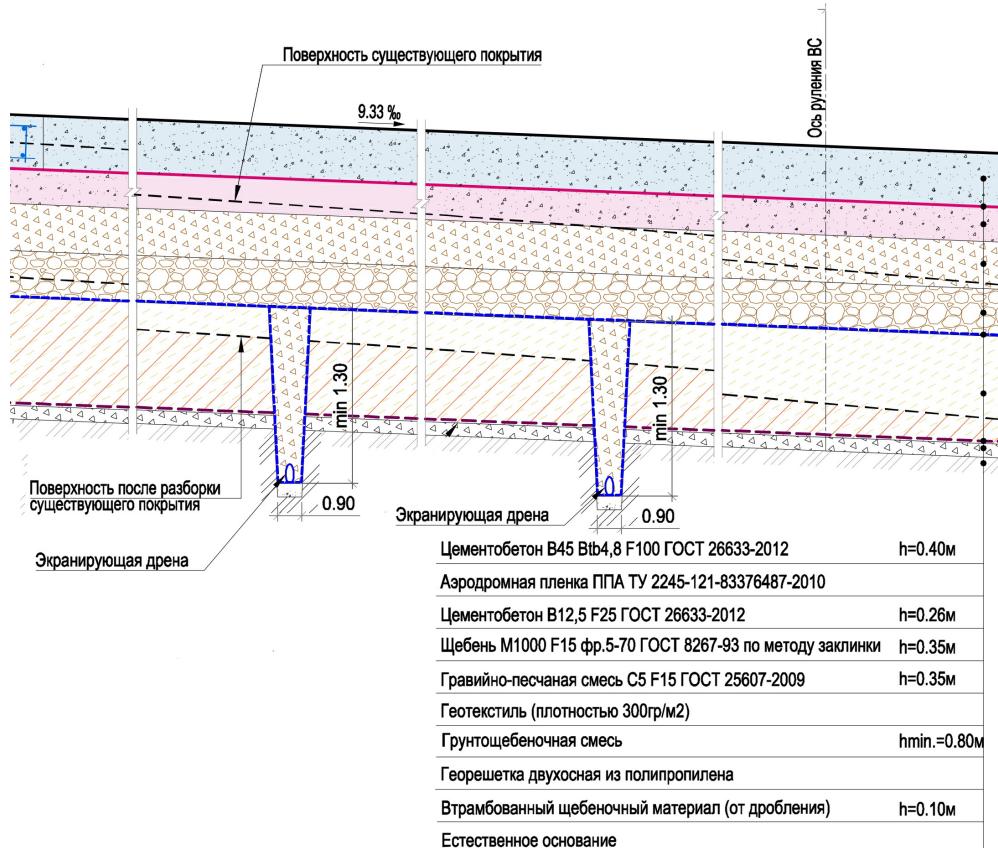


Рис. 6. Фрагмент конструктивного разреза ИВПП в аэропорту г. Минеральные воды
(составлено ООО «Красаэропроект»)

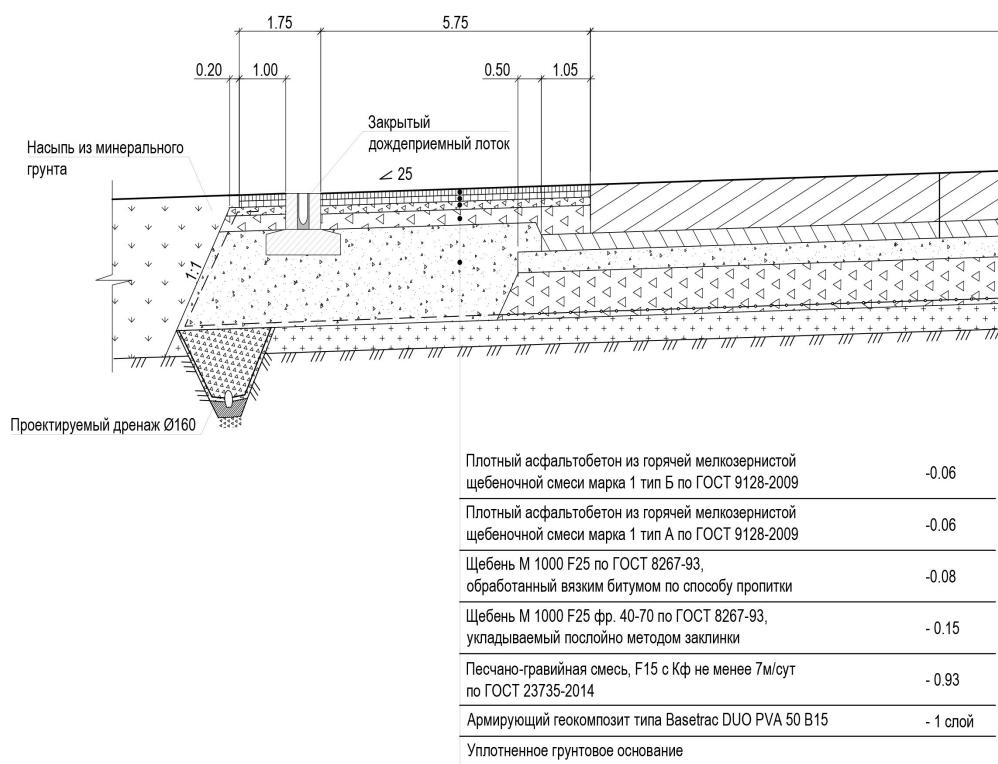


Рис. 7. Фрагмент конструктивного разреза ИВПП в аэропорту г. Южно-Сахалинск
(составлено ФГУП ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект»)

В аэропорту г. Минеральные воды удалось таким образом решить проблему стабилизации грунтового основания в связи с наличием специфических, в том числе набухающих грунтов и высокой сейсмичности территории.

На территории аэропорта г. Южно-Сахалинск по мимо сейсмичности, подтопления наблюдаются процессы морозного пучения, которые удалось стабилизировать с помощью аналогичного предлагаемому в данной работе комплексу инженерной защиты. Единственное, что хотелось бы отметить, при строительстве ИВПП г. Южно-Сахалинск, используемый геокомпозит укладывался просто в основание насыпи (рис. 8), однако с целью предотвращения выдергивания армирующего материала из-под грунтовой подушки и увеличению жесткости и прочности конструкции рекомендуется устанавливать материал способом включающим так называемый «обратный анкер», когда край материала заворачивается с натягом внутрь вышележащей насыпи.



Рис. 8. ИВПП г. Южно-Сахалинск (фото автора)

Выводы

Таким образом, можно дать следующие рекомендации. Сложные инженерно-геологические условия Арктики обуславливают комплексный подход в решении всех инженерно-геологических задач.

При исключении или минимизации подтопления территории аэропорта г. Мурманск и разработки комплекса методов для этого, необходимо учитывать глубину сезонного промерзания и соответственно организовывать прокладку дренажных систем, смотровых колодцев ниже глубины промерзания, а так же учитывать, что водопропускные лотки будут работать только в теплое время года, а в холодное могут быть деформированы воздействием морозного пучения.

При стабилизации грунтового основания под ИВПП, РД, перроны и т.д. аэропорта г. Мурманск требуется использование дополнительных не только механических способов технической мелиорации грунтов. Необходимо разрабатывать комплекс инженерной

защиты территории [18], включающий в себя механические, физико-химические методы, а также методы стабилизации грунтового основания геосинтетическими материалами. Вид материала подбирается исходя из инженерной задачи, однако в большинстве случаев с экономической точки зрения для армирования и стабилизации грунтового основания (в отличие от армирования аэродромной одежды, где функция разделения не только не нужна, но и опасна) оптимальны геокомпозиты. Исходя из инженерно-геологических условий территории и особенностей аэропортового строительства (щелочная среда), оптимальным будет применение геокомпозитов из ПВС-сырья. Это также подтверждается экономической выгодой: удлинение при разрыве всего 6 %, соответственно при строительстве можно использовать материалы с более низкой прочностью при растяжении, чем при использовании материалов из ПЭТ-сырья, что подтверждается расчетами.

Библиография

1. Реконструкция аэропортового комплекса (г. Мурманск). Проектная документация. Раздел 2. Часть 3. Новгородский филиал АО "Институт Стройпроект"; 2022. 150 с.
2. Sabri M., Ihson J., Fahad A., Hasib R. Stabilization of expansive soil with lime and brick dust. Magazine of Civil Engineering. 2023. № 8. DOI: 10.34910/MCE.124.1 EDN: MPVWLW.
3. Anburuvel A. The Engineering Behind Soil Stabilization with Additives: A State-of-the-Art Review. Geotech Geol Eng. 2024. Vol. 42. C. 1-42. DOI: 10.1007/s10706-023-02554-x. EDN: XDLANC.
4. de Córdova Caetani B., Nierwinski H., Karasiak Meneguz B. Nanotechnology Applied for Soil Stabilization. Proceeding by 7th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization-a Survey, in: ISC2024. 2024. C. 678-683.
5. Ayub F., Khan S. A. An overview of geopolymer composites for stabilization of soft soils. Construction and Building Materials. 2023. Vol. 404. C. 35-67. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133195. EDN: GNJKDO.
6. Родькина И.А. ПТС "Аэропорт". Материалы V международной конференции "ГеоИнфо". Москва; 2025. С. 143-147.
7. Королев В.А. Инженерная защита территорий и сооружений. Москва: Кн. дом Университет; 2013. 470 с.
8. Khan M., Umar M., Alam M., Ali U., Vatin N.I., Almuhibah H. Evaluation of design parameters for geosynthetic reinforced-soil integrated bridge system based on finite element analysis. Frontiers in Materials. 2024. C. 1-15.
9. Комилов С., Худайкулов Р., Эсиргапов А. Особенности усиления насыпи земляного полотна геосинтетическими материалами. Транспорт шелкового пути. Ташкент; 2021. № 1. С. 71-77.
10. Бабаев В. Б., Строкова В. В., Нелюбова В. В., Савгир Н. Л. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 63-66. EDN: PVMBSR.
11. Вторушин В.Н., Ладнер И.С., Антоновский Д.М. Чем армировать асфальтобетон. Международный опыт. Спб; 2011. 136 с.
12. Демешкин А.Г., Шваб А.А. Влияние агрессивной щелочной среды на прочностные свойства технических волокон. Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. 2013. № 2 (31). С. 36-41.
13. Miao Liu, Zirong Guo, Yunfeng Qian, Longxiang Chen, Xiang Mao, Jian Zhao, Dingyi Yang. Investigation into the long-term alkali resistance of basalt fibers. Journal of Building Engineering. 2024. Vol. 98. С. 315-367.

14. Berdnyk O., Lastivka O., Maystrenko A., Amelina N. Processes of structure formation and neoformation of basalt fiber in an alkaline environment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. C. 67-93.
15. Jaya R. P., Sulaiman M. A., Duraisamy Y. Durability of Basalt Rebars under Alkaline Environment. Construction Technologies and Architecture. 2023. Vol. 4. C. 35-45.
16. Wu G., Wang X., Wu Z., Dong Z., Xie Q. Degradation of basalt FRP bars in alkaline environment. Science and Engineering of Composite Materials. 2015. Vol. 22, No. 6. C. 649-657.
17. Sami E., Gareth W. Evaluating the Efficiency of Basalt and Glass Fibres on Resisting the Alkaline, Acid, and Thermal Environments. American Journal of Materials Science. 2016. Vol. 6, No. 1. C. 19-34.
18. Минина М. В. Инженерно-геологическое обоснование типовых комплексов противооползневой инженерной защиты автомобильных дорог. Автореферат диссертации на соискание уч. степени к.г.-м.н. по специальности 25.00.08. Москва: Iqprint; 2020. 26 с. EDN: VYWFMW .

Результаты процедуры рецензирования статьи

Рецензия выполнена специалистами [Национального Института Научного Рецензирования](#) по заказу ООО "НБ-Медиа".

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом статьи является изучение инженерно-геологическое обоснование проектных решений при строительстве аэропортов в арктической зоне на территории РФ.

В статье автор отражает актуальность исследования, указывая на то, что при строительстве зданий и сооружений в арктической зоне инженеры-геологи обращают внимание на наличие или отсутствие в ней многолетне-мерзлых грунтов. Аэропорты относятся к инженерному сооружению особой важности, так как являются объектами инфраструктуры воздушного транспорта и относятся к особо опасным и технически сложным объектам. Строительство аэропортов в Арктике происходит практически всегда в очень сложных инженерно-геологических условиях.

В данной работе рассматриваются возможные инженерные решения при отсутствии в грунтовом основании мерзлых грунтов. Целью данной работы является инженерно-геологическое обоснование проектных решений в арктической зоне при отсутствии в подстилающих грунтах многолетнемерзлых по-род.

В качестве объекта исследования выбран аэропорт Мурманска, который находится в атлантико-арктической зоне умеренного климата. Из-за влияния Гольфстрима на исследуемой территории многолетнемерзлые породы отсутствуют, глубина сезонного промерзания-протаивания составляет более 2 м.

Методология исследования основана на данных инженерно-геологических изысканий, однако автором методология в статье не представлена, данное замечание необходимо учесть.

В статье автором также упущена научная новизна проводимых исследований. Данное замечание необходимо устранить и описать элементы новизны, применяемые в исследовании.

Стиль статьи – научно-популярный, ее объем соответствует требованиям журнала, однако структура статьи не выдержаны, разделы статьи не соответствуют требованиям журнала «Арктика и Антарктика». Автор выделяет: введение, характеристику объекта исследования, предлагаемые проектные решения, вопросы по предлагаемым проектным

решениям, оптимальное решение и его инженерно-геологическое обоснование, выводы и библиографию. К сожалению, в статье мало представлено экспериментальных данных, нет рисунков, графиков, фотоматериалов, которые могли бы придать большую научную значимость данной статье.

Библиография статьи включает в себя 20 литературных источников, 9 из которых – на иностранных языках. В рецензируемых журналах из списка ВАК не принято в библиографический список включать ссылки на интернет-сайты, санитарные правила, ГОСТы и т.п.

В тексте имеются опечатки, например в последнем абзаце «геосинтетическими материалами», правильный вариант – «геосинтетическими материалами».

Выводы в статье обоснованы. Автор приходит к заключению, что при стабилизации грунтового основания (при отсутствии в основании мерзлых грунтов), необходимо разрабатывать комплекс инженерной защиты территории, включающий в себя механические, физико-химические методы, а также методы стабилизации грунтового основания геосинтетическими материалами. Однако, выводы в статье нужно было все-таки связать со строительством аэропортов, поскольку они были заявлены в названии статьи.

Статья после доработки может иметь важное научно-практическое значение для специалистов в области мерзлотоведения и грунтоведения.

Рецензируемая статья рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после устранения замечаний.

Результаты процедуры повторного рецензирования статьи

Рецензия выполнена специалистами [Национального Института Научного Рецензирования](#) по заказу ООО "НБ-Медиа".

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом статьи является инженерно-геологическое обоснование проектных решений при строительстве аэропортов в арктической зоне на территории РФ.

В статье автор отражает актуальность исследования, указывая на то, что при строительстве зданий и сооружений в арктической зоне инженеры-геологи обращают внимание на наличие или отсутствие в ней многолетнемерзлых грунтов. Аэропорты относятся к инженерному сооружению особой важности, так как являются объектами инфраструктуры воздушного транспорта и относятся к особо опасным и технически сложным объектам. Строительство аэропортов в Арктике происходит практически всегда в очень сложных инженерно-геологических условиях. В связи с этим, изучение данного вопроса является важной задачей при строительстве объектов инфраструктуры в арктической зоне.

В рецензируемой статье рассматриваются возможные инженерные решения при осуществлении строительных работ в случае отсутствия в грунтовом основании мерзлых грунтов. Целью данной работы является инженерно-геологическое обоснование проектных решений в арктической зоне при отсутствии в подстилающих грунтах многолетнемерзлых по-род.

В качестве объекта исследования выбран аэропорт Мурманска, который находится в

атлантико-арктической зоне умеренного климата. Из-за влияния Гольфстрима на исследуемой территории многолетнемерзлые породы отсутствуют, глубина сезонного промерзания-протаивания составляет более 2 м.

Методология исследования основана на применении метода бурения скважин, использования инженерно-геологического разреза, принятия проектных решений на основании данных инженерно-геологических изысканий, анализе нормативных документов и результатов инженерно-геологических изысканий.

В связи с этим, цель исследования — предотвратить отрицательное воздействие опасных геологических, экологических и других процессов на территории, здания и сооружения, а также защитить от их последствий.

В статье автором отражена научная новизна проводимых исследований, которая заключается в разработке методики инженерно-геологического обоснования комплекса инженерной защиты территории для стабилизации грунтового основания территории аэропорта г. Мурманск для строительства и реконструкции линейных сооружений и обосновании комплекса инженерной защиты территории аэропорта г. Мурманск. Небольшое замечание - автор выделил 2 пункта научной новизны, однако сбился в их нумерации (пункт 1 и пункт 3).

Стиль статьи – научный, ее содержание, структура и объём соответствуют требованиям журнала "Арктика и Антарктика". Библиография статьи включает в себя 18 литературных источников, 9 из которых – на иностранных языках.

Выводы в статье обоснованы. Автор приходит к заключению, что при стабилизации грунтового основания (при отсутствии в основании мерзлых грунтов), необходимо разрабатывать комплекс инженерной защиты территории, включающий в себя механические, физико-химические методы, а также методы стабилизации грунтового основания геосинтетическими материалами. При исключении или минимизации подтопления территории аэропорта г. Мурманск и разработки комплекса методов для этого, необходимо учитывать глубину сезонного промерзания и соответственно организовывать прокладку дренажных систем, смотровых колодцев ниже глубины промерзания, а так же учитывать, что водопропускные лотки будут работать только в теплое время года, а в холодное могут быть деформированы воздействием морозного пучения.

Статья имеет важное научно-практическое значение для специалистов в области мерзлотоведения и грунтоведения, а также специалистов по проведению инженерно-геологических работ при строительстве объектов в криолитозоне.

Реценziруемая статья рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика».