

II Международная конференция учащихся

«НАУЧНО-ТВОРЧЕСКИЙ ФОРУМ»

Научно-исследовательская работа

Предмет: физика

ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НОВОГО СПОСОБА БОРЬБЫ С  
ГОЛОЛЁДОМ НА ДОРОГАХ ГОРОДА АПАТИТЫ, ОСНОВАННОГО НА  
ИССЛЕДОВАНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ-СКОЛЬЖЕНИЯ ПО  
ПОВЕРХНОСТИ ЛЬДА, ОБРАБОТАННОГО СУХИМИ  
АНТИГОЛОЛЕДНЫМИ РЕАГЕНТАМИ

*Выполнил:*

***Курбатов Тимофей Владимирович***

*Учащийся 11 класса*

*МБОУ СОШ №15, Россия г.Апатиты*

*Электронный адрес: [tim.tk\\_16@mail.ru](mailto:tim.tk_16@mail.ru)*

*Руководители:*

***Демкина Светлана Александровна, учитель физики,***

***Коркачева Дина Александровна, учитель информатики;***

*МБОУ СОШ №15, Россия г.Апатиты*

## Введение

Появление на дорожных покрытиях снежно-ледяных отложений в зимнее время года неизбежно, и во многих регионах оно наблюдается 2-4 месяцев. Мой город скорее исключение из списка, так как зима длится 7-8 месяцев. Наступление холодов, предсказать которые практически нельзя, мой город Апатиты встречает сменой колесных резин для машин, веселыми прогулками на каток, а для кого-то это оборачивается травмами и ушибами. На скользких дорогах снижается скорость движение и производительность транспортных средств. Однако использование химических антигололедных смесей улучшает состояние покрытий и повышает безопасность дорожного движения.

**Объект исследования:** Коэффициент трения-скольжения.

**Предмет исследования:** Изменение коэффициента трения-скольжения при использовании сухого антигололедного реагента.

**Изучение информационных источников и уточнение темы:** в процессе работы над данной темой была проанализирована основная учебная и научно-популярная литература, которая позволила осмыслить и осуществить выполнение учебно-исследовательской работы. Знакомство с литературой в первую очередь было начато с энциклопедий, из которых получил представление об основных вопросах, к которым примыкает избранная тема. Много интересной информации узнал на сайте Финляндия, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://finland.fi/>, наши ближних соседей. И не зря ведь климат у нас похожий. С точки зрения водителей многих стран, финские дороги почти идеальны. И это правда! Данная страна уже давно практикует посыпание дорог гранитной крошкой, которая дает лучшее сцепление шин с дорогой, что является эффективным и экологичным способом борьбы с гололедом.

**В ходе исследования была выдвинута гипотеза:** не может быть универсальных реагентов для всех городов, каждый регион обладает своими

климатическими особенностям, узнав какой реагент эффективен для нашего города, мы сможем повысить безопасность дорожного покрытия.

**Цель работы:** теоретическое и экспериментальное исследование коэффициент трения – скольжения по поверхности льда, обработанного твердыми реагентами, а так же поиск оптимального антигололедного реагента.

**Методы и приемы:** теоретические, эмпирические.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие **задачи:**

- Изучены существующие антигололедные реагенты такие как галит, песчано-солевая смесь, в пропорции 60:40, хлористый кальций, нефелиновые хвосты, продукт переработки АНОФ-II.
- Проведены эксперименты по вычислению коэффициента трения – скольжения по поверхности льда обработанного реагентами: галит, песчано-солевая смесь, в пропорции 60:40, хлористый кальций, нефелиновые хвосты, продукт переработки АНОФ-II.
- Сделаны выводы об эффективности данных реагентов.

**Практическая значимость:** теоретическое и экспериментальное исследование антигололедных средств поможет улучшить состояние дорог во время гололеда, а так же снизить травматизм в зимнее время года. **Актуальность научного исследования** заключается в разработке рекомендаций для эффективного снижения гололедицы в г.Апатиты, повышение безопасности дорожного движения, снижения травматизма и увеличения производительности транспортных средств. Нам стало интересно, какие антигололедные реагенты используют в борьбе с гололедицей в г.Апатиты. Проконсультировавшись со специалистами «Хибинского дорожного центра» нас заинтересовал вопрос, а какой из реагентов наиболее эффективен с точки зрения максимального сцепления подошвы и шины на льду, в наших климатических условиях, ведь на данный момент используются общепринятые рекомендации.

## ГЛАВА I. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1.1. Сила трения скольжения

**Сила трения скольжения** – это сила взаимодействия между соприкасающимися телами, препятствующая перемещению одного тела относительно другого.

Вектор силы трения скольжения направлен противоположно вектору скорости движения тела относительно поверхности, по которой оно скользит. [1]

Тело, скользящее по твёрдой поверхности, прижимается к ней силой тяжести  $mg$ , направленной по нормали. В результате этого поверхность прогибается и появляется сила упругости  $N$  (сила нормального давления или реакция опоры), которая компенсирует прижимающую силу  $N = - mg$ .  $\rightarrow$

Чем больше сила  $N$ , тем глубже сцепление зубурин и тем труднее их сломать.

Опыт показывает, что модуль силы трения скольжения пропорционален силе нормального давления:  $F_{ск} = \mu \cdot N$

Безразмерный коэффициент  $\mu$  называется коэффициентом трения-скольжения. Он зависит от материалов соприкасающихся поверхностей и степени их шлифовки. Например, при передвижении на лыжах коэффициент трения зависит от качества смазки (современные дорогостоящие смазки), поверхности лыжни (мягкая, сыпучая, уплотнённая, оледенелая) тем или иным состоянием снега в зависимости от температуры и влажности воздуха и др. Большое количество переменных факторов делает сам коэффициент непостоянным. Если коэффициент трения лежит в пределах 0,045 – 0,055 скольжение считается хорошим. [2]

В таблице приведены значения коэффициента трения скольжения для различных соприкасающихся тел.

### 1.2 Коэффициенты трения скольжения для различных случаев

Коэффициенты трения скольжения для различных случаев. Условия скольжения  $\mu$ :

Шина по сухому асфальту **0,50 – 0,8**

Шина по мокрому асфальту **0,35 – 0,45**

Шина по гладкому льду **0,15 – 0,20**

### **1.3 Общая характеристика антигололёдных реагентов**

На сегодняшний день существует огромный спрос на так называемые антигололедные реагенты. Сегодня к антигололедным реагентам предъявляются достаточно серьезные требования, связанные не только с эффективностью материалов, но и с их безопасностью. Антигололёдные реагенты — это хлориды металлов, таких как натрий, магний, кальций, применяемые для борьбы со льдом и гололедицей в зимний период. Химические, комбинированные и фрикционные антигололёдные материалы, применяются в твёрдом или жидком виде для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах общего пользования, улицах и дорогах городов, посёлков и сельских поселений. Все реагенты имеют одно общее свойство — понижать точку плавления снега. В снежную, слякотную погоду реагенты чаще всего используются твёрдые, а в сухую погоду, при гололёде — жидкие химические вещества. При попадании твердого антигололёдного реагента на ледяную поверхность снега или льда, его кристаллы начинают активно впитывать (поглощать) влагу из окружающей среды. При переходе из твёрдой фазы в жидкую реагент начинает выделять тепло, которое и используется для таянья снега. Образовавшаяся из растопленного снега, льда и реагента масса называется рассолом, имеющий температуру замерзания ниже температуры замерзания воды. Именно раствор антигололедного реагента пока его концентрация такова, растапливает лед и предотвращает возникновение гололёдных образований. [3]

### **1.4 Борьба с зимней скользкостью**

Борьба с зимней скользкостью ведется по трем направлениям: улучшение сцепления колес автомобилей с покрытием; удаление снежно-ледяных образований с дорожного покрытия; предотвращение образования скользкости. Основные способы борьбы: фрикционный, химический, тепловой и механический. Широко распространен фрикционный способ, заключающийся в

рассыпанию по поверхности обледенелого слоя материалов, повышающих коэффициент сцепления шин с дорогой (песка, шлака, золы и т. д.). [4] Недостатками фрикционного способа являются значительные транспортные расходы на перевозку и распределение материалов. Обычно песок наносится на покрытие в количестве до 340 кг на км на 1 полосу движения. Песок предназначен для временного увеличения сцепления между колесами транспортных средств и покрытием. Большое распространение получил комбинированный химико-фрикционный метод, когда фрикционные материалы (песок) смешиваются с твердыми хлоридами в различных соотношениях. Песок или высевки могут быть применены «напрямую», могут быть предварительно увлажнены растворами солей (в хранилище или при погрузке в пескораспределитель) или поставляться смешанными с солью (с соотношением песок: соль от 1:1 до 4:1). Получаемые выгоды являются временными, если не заставить абразивы задерживаться на снеге или льду. Улучшение сцепления в основном зависит от расхода материала (до 580 кг/км/полоса движения). Существует три способа удержать абразивы на дорожном покрытии: предварительное увлажнение абразивов растворами жидких противогололедных реагентов, нагрев абразивов до применения, смешивание абразивов с водой до применения. [5]

### **1.5 Современные технологии применения противогололедных реагентов**

Техническая соль и песок в качестве противогололедных реагентов имеют массу недостатков, особенно соль, однако все они искупаются, во-первых, дешевизной и того, и другого веществ, во-вторых, удовлетворительной эффективностью. [6] Техническая соль является единственным из всех противогололедных реагентов, который не ухудшает коэффициент сцепления асфальтового покрытия с шинами. Химическая промышленность России предлагает массу новых более современных составов, которые способны плавить лед при более низких температурах, чем поваренная соль (до  $-35^{\circ}\text{C}$ ), гораздо менее токсичны для зеленых насаждений и городских животных,

меньше повреждают бетон и асфальт, не говоря уже о кожаной обуви и металлических деталях машин. [7,8]

### 1.6. Основные характеристики антигололедных реагентов

РЕАГЕНТ	СТОИМОСТЬ	ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	ТЕМПЕРАТУРА ДЕЙСТВИЯ	НОРМА РАСХОДА РЕАГЕНТА
NaCl	175 р. за 25 кг	В больших количествах, сильно оказывает влияние на рост и численность растительности, состояние животных. Так же вызывает коррозию металлов, и разложению резины.	до -10 °С	300 гр/м <sup>2</sup>
SiO <sub>2</sub> +NaCl 60:40	200 р. за 25 кг	Менее токсичен, чем техническая соль, однако вызывает засоры сливных стоков.	до -20 °С	500 гр/м <sup>2</sup>
CaCl	900 р. за 25 кг	Экологичный	до -34 °С	130 гр/м <sup>2</sup>

### 1.7 Особенности зимнего периода г.Апатиты

Город расположен в северной атлантико-арктической климатической области умеренного климата. Климат Апатитов формируется влиянием Хибинских гор находящихся чуть севернее города, и озером Имандра, расположенным южнее. Характерными чертами климата города являются длительная (октябрь — апрель), но не суровая зима, прохладное лето. Средняя

температура января — февраля в Апатитах примерно от  $-13$  до  $-15$  °С. Сильные морозы бывают редко, и эпизодически бывают оттепели. Ветер в Апатитах имеет сезонный характер — зимой преобладают ветра с гор, а летом — ветра с Имандры. Смена ветров происходит примерно в мае и сентябре. Средняя температура июля примерно от  $+13$  до  $+14$  °С. Снег в Апатитах лежит в среднем 250 дней и полностью сходит к концу мая (в окрестностях города снег может лежать до начала июня). Полярная ночь на широте Апатитов длится со 15 декабря по 28 декабря, полярный день — с 20 мая по 27 июля. [9] (Приложение №1, [10])

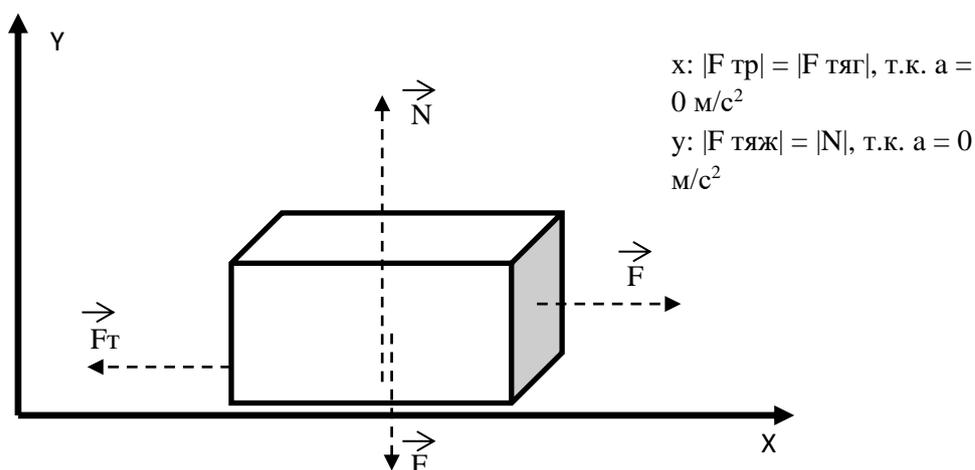
## ГЛАВА II. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**Приборы и материалы:** Брусok ( $m=100$  гр.), рейка (покрытая льдом), динамометр, подошва (изготовленная из термополиуретана)  $m = 13$  гр., шина (из вулканизированного каучука)  $m = 13$  гр.

**Реагенты:** Галит ( $\text{NaCl}$ ) массой 10 гр., песчано-солевая смесь, в пропорции 60:40 ( $\text{SiO}_2+\text{NaCl}$ ) массой 10 гр., хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ) массой 10 гр., Нефелиновые хвосты ( $(\text{Na,K})\text{AlSiO}_2$ )

**Внешние условия:** Для повышения влажности, до 80% мы использовали увлажнитель воздуха (Polaris PUN 0806Di)

Для уменьшения температуры мы использовали охладитель воздуха (мини-кондиционер, охладитель воздуха Arctic Air), температура потока воздуха, на выходе которого  $+3$  °С



## ХОД РАБОТЫ

1. При равномерном движении бруска определили показания динамометра.
2. Рассчитали коэффициент трения без реагента:

$$\mu_{\text{без реагента}} = 0,185$$

3. Рассчитали коэффициент с реагентами.



3. По результатам трех опытов рассчитали среднее значение коэффициента трения-скольжения с одним реагентом.



ПО II закону Ньютона:  $\vec{F}_{\text{тяж}} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тяги}} = m\vec{a}$

X:  $-F_{\text{тр}} + F_{\text{тяги}} = 0$ , т. к.  $a$

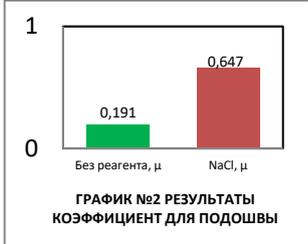
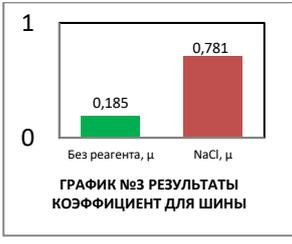
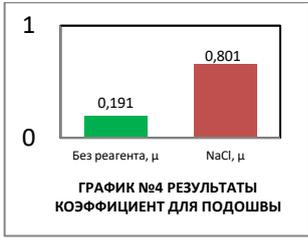
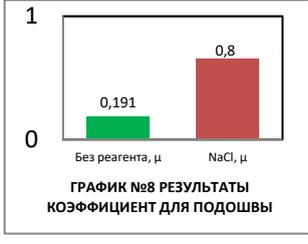
$$\mu = \frac{F}{mg}$$

$$\mu_1 = \frac{0.7}{1.08} = 0.648$$

$$\mu_2 = \frac{0.75}{1.08} = 0.694$$

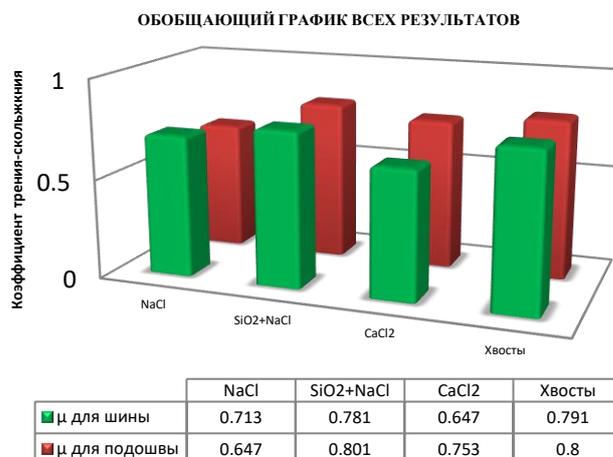
$$\mu_3 = \frac{0.65}{1.08} = 0.601$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Реагент	Внешние условия	Коэффициент трения	График	
Галит (NaCl)	$t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi = 80\%$	$\mu_{\text{шины}} = 0,713$ $\mu_{\text{подшвы}} = 0,647$	 <p>ГРАФИК №1 РЕЗУЛЬТАТЫ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ШИНЫ</p>	 <p>ГРАФИК №2 РЕЗУЛЬТАТЫ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ПОДОШВЫ</p>
Песчано-солевая смесь, в пропорции 60:40 ( $\text{SiO}_2 + \text{NaCl}$ )	$t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi = 80\%$	$\mu_{\text{шины}} = 0,781$ $\mu_{\text{подшвы}} = 0,801$	 <p>ГРАФИК №3 РЕЗУЛЬТАТЫ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ШИНЫ</p>	 <p>ГРАФИК №4 РЕЗУЛЬТАТЫ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ПОДОШВЫ</p>
Хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ )	$t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi = 80\%$	$\mu_{\text{шины}} = 0,647$ $\mu_{\text{подшвы}} = 0,753$	 <p>ГРАФИК №5 РЕЗУЛЬТАТЫ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ШИНЫ</p>	 <p>ГРАФИК №6 РЕЗУЛЬТАТЫ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ПОДОШВЫ</p>
Отходы нефелиновые хвосты содержание ( $\text{SiO}_2$ – до 50%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ – до 22%, $\text{TiO}_2$ – до 3%, $\text{P}_2\text{O}_5$ - 2-4%).	АНОФ-2 $t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi = 80\%$	$\mu_{\text{шины}} = 0,791$ $\mu_{\text{подшвы}} = 0,8$	 <p>ГРАФИК №7 РЕЗУЛЬТАТЫ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ШИНЫ</p>	 <p>ГРАФИК №8 РЕЗУЛЬТАТЫ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ПОДОШВЫ</p>

## ВЫВОДЫ

Исходя из вышеизложенного, я пришел к выводу, что самый эффективный антигололѐдный реагент для транспортных средств и пешеходов, является песчано-солевая смесь, в пропорции 60:40 ( $\text{SiO}_2+\text{NaCl}$ ) и хвосты.



Отходы АНОФ-2 нефелиновые хвосты содержание ( $\text{SiO}_2$  – до 50%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – до 22%,  $\text{TiO}_2$  – до 3%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 2-4%), хоть и антигололѐдным реагентом не являются, но эффективно повышают трение между льдом и шиной, а также подошвой.

Таким образом, выбор можно сделать в пользу нефелиновых хвостов, это будет что-то вроде альтернативы гранитной крошки, с условием если мы предварительно разделим их на фракции, размер крупиц которых не будет меньше 6 мм. Это позволит уменьшить расходы на приобретение реагентов, так как нынешние закупаются ежегодно. Это улучшит состояние экологии, и не как не понизит уровень безопасности на дорожном покрытии, что мы и доказали в исследовательской работе.

### Данная разработка имеет ряд преимуществ:

- ✓ Экологически чистый, и не наносящий вред экологии метод борьбы с гололедом.
- ✓ Неограниченное использования: то есть, собирая ежегодно по весне нефелиновую крошку, её можно использовать повторно.
- ✓ Сцепление подошвы со льдом при использовании нефелиновой крошки ни коем образом не уступает сцеплению обуви при использовании той же

самой песчано-солевой смеси, даже имеет преимущество в ряде других реагентов.

- ✓ Нефелиновая крошка не растворима (например, как галит и другие химические реагенты), частицы не будут подниматься в воздух, и создавать пылевой занавес над городом.
- ✓ Данный метод окупается, и экономит бюджет.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам исследования было выявлено несколько реагентов как эффективные, однако посыпать шоссе и тротуары разными реагентами не целесообразно. А вот одним из универсальным антигололедным средством стала песчано-солевая смесь, как наиболее эффективный реагент в борьбе с гололедицей. Увеличивающий коэффициент трения-скольжения в 3 раза. Его эффективность была подтверждена по следующим критериям:

1. Данный реагент обладает высокими гигроскопическими свойствами, то есть замерзание при смешении со снегом происходит при температурах ниже 20°C.
2. Песчано-соляная смесь практически безвредна, для человека, и окружающей среды, однако сама техническая соль наносит вред обуви и почве, но в данной пропорции они минимальны.
3. При проведении эксперимента по расчету коэффициента трения – скольжения песчано-солевая смесь показала лучшие результаты, среди других реагентов. То есть при смешивании льда с данным реагентом, получаем поверхность с максимальным коэффициентом трения – скольжения, что в свою очередь обеспечивает качественную сцепку обуви и шины с поверхностью.
4. Данный вид антигололедного реагента относится к дешевым (средняя стоимость: 200 р. - 25 кг).

В процессе исследования так же было установлено, что отходы АНОФ-2 нефелиновые хвосты, так же эффективны как реагент, и имеют ряд преимуществ.

В заключении, хотелось бы отметить, что поставленная нами задачи были успешно выполнены в процессе работы над проектом, гипотеза подтвердилась, не все реагенты подходят к нашему климату, а так же успешно нашли альтернативу антигололедным реагентам.

Очень хотелось бы увидеть свои замыслы воплощенными в действительность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гутиков П.С. Петля безопасности: хроника автомобильных катастроф/документальная литература /Петр Гутиков Москва : Эксмо, 2011 г.– 260 с. [6]
2. Дерягин Б.В., Что такое трение? (Научно-популярная серия/ Акад. наук СССР). 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1963. - 230 с. [1]
3. Крагельский, И.В., Щедров В.С., Развитие науки о трении/ Издательство Академии Наук СССР Москва, 1956. – 236 с. [2]
4. Мосин О.В., статья О пользе и вреде антигололёдных средств/ Мосин О.В., [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.o8ode.ru/article/krie/noice/article.htm> [4]
5. Перрин Д., Органические аналитические реагенты : пер. с англ. / Д. Перрин ; ред. Ю. А. Золотов. – М. : Мир, 1967 . – 407 с. [3]
6. Подольский В.П., Экологические аспекты зимнего содержания дорог / В. П. Подольский, Т. В. Самодурова, Ю. В. Федорова. - Воронеж, 2000. – 150 с. [8]
7. Сбор, систематизация и хранение данных о погоде [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.weatheronline.co.uk> [10]
8. Стародубов А.Г., Чудаков С.Б., «Эколого-гигиеническая оценка опасности антигололедных реагентов» Сборник докладов 4-ого Международного конгресса по управлению отходами, 2005, 20-32 с. [7]
9. Ушаков В.В. и др. Справочник дорожных терминов. МАДИ (ГТУ) 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64 ООО ЭКЦ "ЭКОН" – 303 с. [5]
10. Яковлев Б.А. Климат Мурманской области/Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1961. — 180 с. [9]

*Приложение №1 «Климат г. Апатиты 2018-2019»*

	Янв	Фев	Мар	Апр		Сен	Окт	Ноя	Дек
<b>Т min,</b> °С	-26	-21	-5	+2		+4	-6	-12	-11
<b>Т max,</b> °С	-1	+1	+2	+11	...	+22	+5	+2	-1
<b>Т ср,</b> °С	-7	-5	-2	+3		+7	+2	-3	-4

	Янв	Фев	Мар	Апр		Сен	Окт	Ноя	Дек
<b>Вл.воздуха</b>	88%	81%	80%	81%		87%	91%	79%	85%
<b>Осадки,</b> мм	44	42	51	59	...	57	69	60	57
<b>v м/с</b> <b>ветра</b>	3,5	3,5	3,5	3,4		3,2	3,5	3,5	3,6