

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. № 3. (120). С. 19-31.

Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. № 3. (120). P. 19-31.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 551.578.42, 551.579.2

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.002

ОСОБЕННОСТИ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ ВДОЛЬ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ САЛЕХАРД – НАДЫМ

**Владислав Евгеньевич Пушкарев¹, Кирилл Александрович
Плесовских², Александр Сергеевич Печкин³**

^{1, 2, 3}Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

¹vladpuskr@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-4713-209X>

²plesovskih.ka@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0000-0631-7656>

³a.pechkin.ncia@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-8558-7247>

Аннотация. По результатам снегомерной съемки на отдельных участках вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым были получены данные распределения и накопления снега. Анализ данных показал, что накопление снежных масс в весенний период существенно влияет на деформацию дорожного полотна в летний период.

Ключевые слова: снегомерная съемка, плотность снега, влагонакпление, автомобильная дорога Салехард – Надым, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Цитирование: Пушкарев В.Е., Плесовских К.А., Печкин А.С. Особенности снегонакопления вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (120). №3. С. 19-31. doi 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.002

Original article

FEATURES OF SNOW ACCUMULATION ALONG THE SALEKHARD — NADYM HIGHWAY

Vladislav E. Pushkarev¹, Kirill A. Plesovskikh², Aleksandr S. Pechkin³

^{1, 2, 3}Arctic Research Center, Salekhard, Russia

¹frandly@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-9071-8574>

²yladpuskr@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-4713-209X>

³plesovskih.ka@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0000-0631-7656>

Abstract. According to the results of the snow-measuring survey, data on the distribution and accumulation of snow were obtained in certain sections along the Salekhard - Nadym highway. Data analysis has shown that the accumulation of snow masses in the spring period significantly affects the deformation of the roadway in the summer.

Keywords: snow measurement, snow density, moisture accumulation, Salekhard —Nadym highway, Yamal-Nenets Autonomous Okrug.

Citacion: V.E. Pushkarev, K.A. Plesovskikh , A.S. Pechkin Features of snow accumulation along the Salekhard – Nadym highway // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. (120). № 3. P.19-31. Doi 10.26110/ARCTIC.2023.120.3.002

Введение

Освоение территорий и улучшение качества жизни в Арктических регионах невозможно без устойчивой транспортной сети [1]. В районах с суровыми климатическими и сложными геологическими условиями одной из главных задач органов власти является минимизация и недопущение развития деформаций дорожного полотна с целью обеспечения безопасности дорожного движения [2, 3].

К основным видам деформаций автомобильных дорог относятся просадки грунтов земляного полотна и естественного основания и, как следствие, дорожных одежд [2 - 4]. В основном это связано с потерей несущей способности грунтов из-за переувлажнения, неравномерного изменения глубин залегания сезонно-талого слоя, активизации процессов тепло-

влагообмена и накопление снегозапасов в весенний период [5 - 8]. В этих условиях ухудшается безопасность дорожного движения, увеличивается количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), снижается скорость автомобильного транспорта, что приводит к резкому уменьшению пропускной способности автомобильных дорог [9 - 11].

Исследование влияния снега на температурное поле мерзлого грунта имеет большое значение для мониторинга линейных объектов. Снежный покров служит хорошим теплоизолятором. Суточные колебания температуры затухают на глубине 30—40 см (у старого снега — на глубине 50 см). При таянии снега колебания температуры происходят только до глубины слоя пропитывания снега водой. Температура тающего слоя остается неизменной, что приводит к разморзанию почвы только после схода снега [12]. Помимо этого, снежный покров, обладая высоким альбедо, существенно снижает поступление коротковолновой радиации к поверхности земли. Вместе с тем снежный покров уменьшает теплообмен между землей и атмосферой, затрудняя отвод тепла в атмосферу [13].

Цель работы — исследование пространственного распределения снежного покрова вдоль отдельных участков автомобильной дороги Салехард — Надым как фактора влияния процессов снегонакопления и снеготаяния на деформации дорожной одежды и земляного полотна.

Материалы и методы

В качестве явных факторов появления деформаций принято считать обводнение основания земляного полотна по причине отсутствия стока поверхностных вод, завышенную крутизну откосов земляного полотна [5, 6].

К неявным факторам относятся особенности рельефа местности, суффозия грунтов, нарушение мохово-торфяного покрова (деградация многолетнемерзлых грунтов), влажность грунтов и отепляющее воздействие снежного покрова в весенне-летний период (вследствие избыточного влагозапаса в весенне-летнем периоде происходят застои воды в различных понижениях рельефа) [8].

Исследования снежного покрова проводились на 1004, 1008, 1018, 1029, 1030 и 1032-м километрах участков дороги Салехард — Надым в первой декаде апреля 2023 г. Высота, плотность и запасы воды снежного покрова измерялись в поперечном профиле автомобильной дороги с шагом 5 метров от оси дороги в обе стороны (с 10 метров от центра дорожного полотна) до 50 метров. Для определения основных физических параметров в снежном покрове проводились измерения на расстоянии 10, 25 и 50 метров от оси дорожного полотна в обе стороны.

Во время снегомерной съемки проводилось морфологическое описа-

ние горизонтов и определялись объемы снегонакопления при помощи весового снегомера ВС-43 [12]. Физические параметры снежного покрова рассчитывались по формулам в соответствии с общепринятыми методами [14].

В период проведения снегомерной съемки на этих же поперечных профилях выполнена бесконтактная электроразведка без контрольного бурения, а также расчет теплопроводности, для которого применяли формулу Н.И. Шендера [2].

Результаты исследования и их обсуждение

По агроклиматическому районированию климат места исследования относится к лесотундровому (1032, 1030, 1029, 1018, 1008-й км) и северотаежному (1004-й км) природным подзонам с суровым ветренным зимним периодом и с дождливым летним [15, 17]. Ближайшая метеостанция расположена в 8 км от г. Надыма в аэропорту (рис. 1).

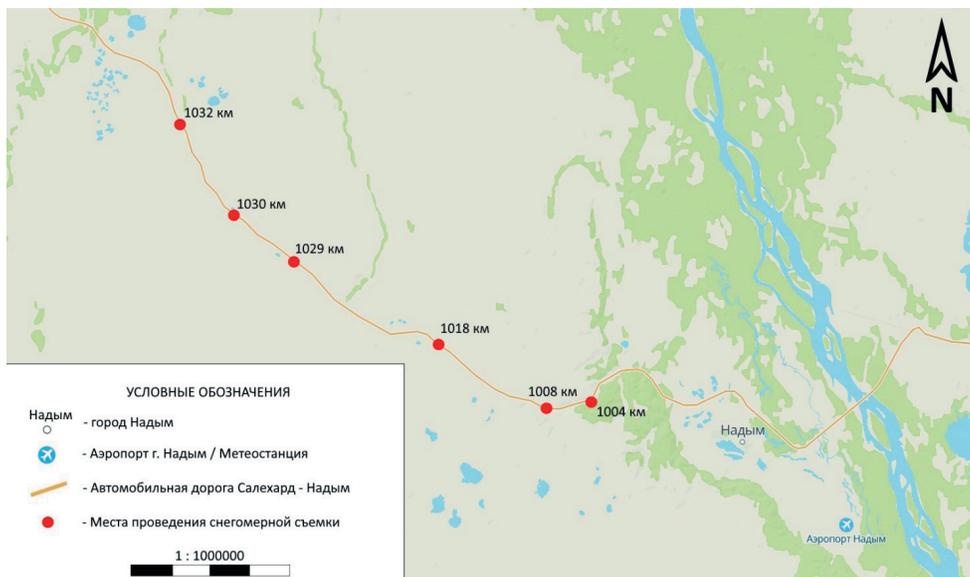


Рис. 1. Схема расположения участков снегомерной съемки

Метеорологические показатели характеризуются низкой среднегодовой температурой воздуха – $-3,6^{\circ}\text{C}$, средней минимальной температурой – $-46,5^{\circ}\text{C}$, средней максимальной температурой – $31,9^{\circ}\text{C}$ [18]. Среднегодовая облачность равна 56%, количество осадков составляет 563,4 мм, число дней с осадками – 255 (табл. 1). Среднегодовое давление составляет 757,7 мм рт. ст., относительная влажность – 78,8%. Среднегодовая высота снежного покрова равна 50,3 см, максимальная среднегодовая высота

снежного покрова достигает 207 см. Самая ранняя дата наличия снежного покрова – 20.09.2010 г., самая поздняя дата наличия снежного покрова – 07.06.2014 г. [19]. Среднегодовая скорость ветра составляет 3,3 м/с, преобладающее направление ветра – южное и юго-восточное (рис. 2).

Таблица 1. Характеристики температуры воздуха и высота снежного покрова

IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Средняя температура воздуха								
6,2	-2,9	-14,0	-18,8	-23,4	-19,1	-11,7	-4,0	3,0
Максимальная температура воздуха								
23,3	12,9	10,3	0,9	0	1,5	-43,3	-29,3	-19,4
Минимальная температура воздуха								
-9,6	-29,7	-40,3	-49,5	-48,6	-48,4	12,2	11,1	31,4
Среднее количество осадков								
44,8	53,7	46,6	31,6	27,1	23,8	31,6	38,9	42,1
Средняя высота снежного покрова								
2,4	12,0	25,8	44,7	60,2	71,3	79,6	69,7	32,3
Максимальная высота снежного покрова								
5	33	54	85	94	111	110	207	95

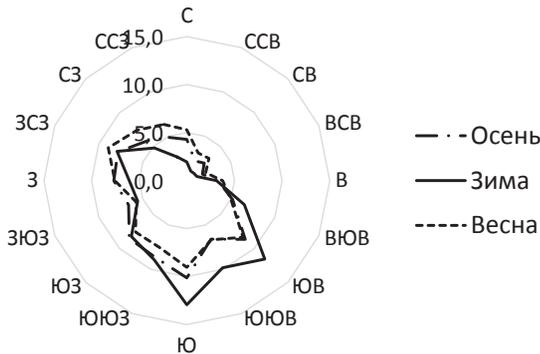


Рис. 2. Направление ветра в г. Надыме (аэропорт)

Распределение и структура снежного покрова зависят не только от интенсивности и длительности выпадения снега, но также от ветрового переноса, который связан с характером рельефа, наличием и типом растительности. По результатам измерения высоты снежного покрова видно, что наибольшее накопление снега происходит у основания земляного полотна (снежный покров достигает высоты до 150 см) в 15 метрах от оси дороги. При отдалении от автомобильной дороги распределение снежной толщи в пределах рассматриваемых участков неравномерно. С южной стороны от дороги в направлении г. Надыма отмечается повсеместное увеличение высоты снега относительно северного направления дороги,

что подтверждает господствующее направление ветра и соответствующее перемещение снежных масс (рис. 3).



Рис. 3. Распределение высоты снежного покрова от центральной оси дорожного полотна по направлению в г. Надым

Для определения плотности снежного покрова (ρ) была применена формула (1):

$$\rho = \frac{m}{10h}, \quad (1)$$

где m – масса снега по снегомеру ВС-43, h – высота снежного покрова.

По результатам расчетов средняя плотность составила $0,28 \text{ г/см}^3$, как таковые различия относительно высоты снежного покрова практически отсутствуют (рис. 4).

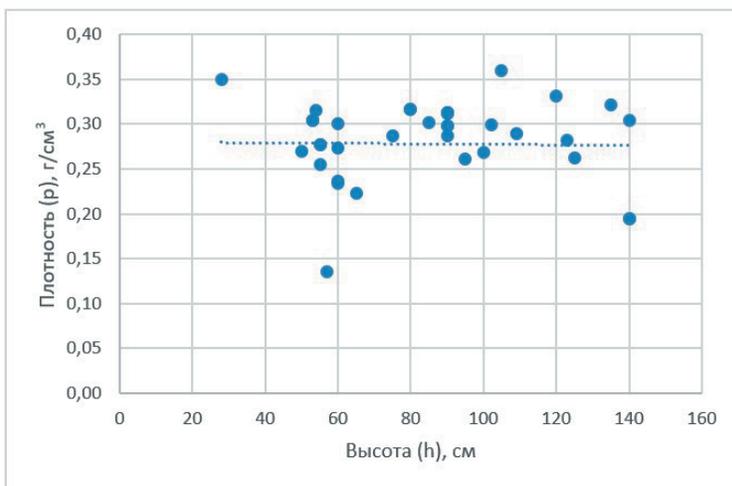


Рис. 4. Зависимость плотности снежного покрова от высоты

Для определения запаса воды (влагозапас) в снежном покрове (Е) была применена формула (2):

$$E = 10\rho h \quad (2)$$

Расчеты влагозапаса сопоставимы показателям высоты снежного покрова, максимальные концентрации также наблюдаются у основания дорожного полотна (Рис.5).

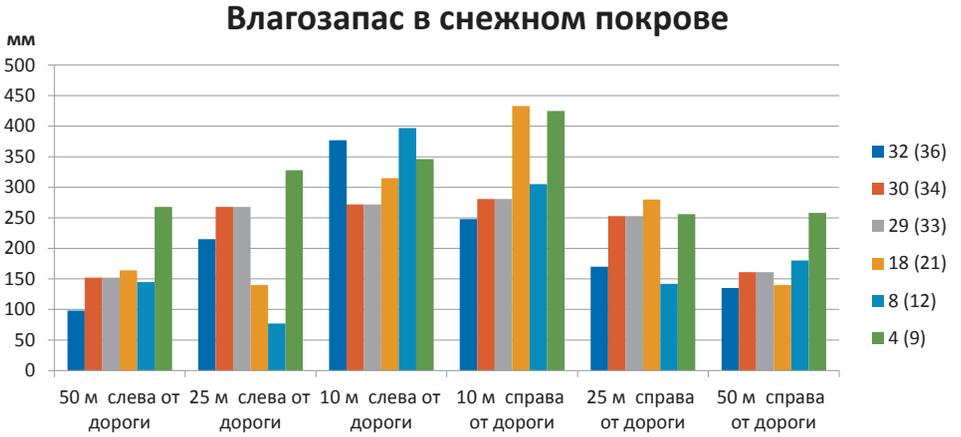


Рис. 5. Распределение влагозапасов снежного покрова от центральной оси дорожного полотна по направлению в г. Надым

Коэффициент теплопроводности дисперсных пород возрастает с увеличением их влажности, поскольку теплопроводность воды и льда выше, чем воздуха [5]. Таким образом, глубина промерзания-протаивания пород с увеличением влажности должна уменьшаться.

Важное значение в формировании мощности слоя сезонного промерзания / оттаивания имеют температурные сдвиги, которые представляют собой разность температур между поверхностью материнских пород и подошвой сезонно-талого слоя. Температурные сдвиги возникают за счет увеличения теплопроводности пород при их переходе из талого в мёрзлое состояние: чем больше льдистость мёрзлой породы, тем больше различие коэффициентов теплопроводности. Это явление объясняется тем, что теплопроводность льда примерно в четыре раза выше теплопроводности воды.

Для расчета теплопроводности применяется формула 3 (Н.И. Шендера). Она получена по результатам расчетов термического сопротивления снежного покрова из натуральных наблюдений за температурным режимом снежного покрова в течение всего зимнего периода в задаче о промерзании грунтов [7, 8]. Температура окружающей среды на момент исследования держалась на уровне $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\lambda = 0,06 + 0,564 * p + 1,31 * p^2, \quad (3)$$

где p – плотность снежного покрова, г/см^3 .

Исходя из результатов измерений теплопроводности, можно сделать вывод, что чем выше плотность, тем выше показатели теплопроводности (рис. 6), но никакой зависимости по расположению от автомобильной дороги обнаружено не было, а среднее значение теплопроводности составило $0,32 \text{ Вт/(м}^*\text{К)}$.

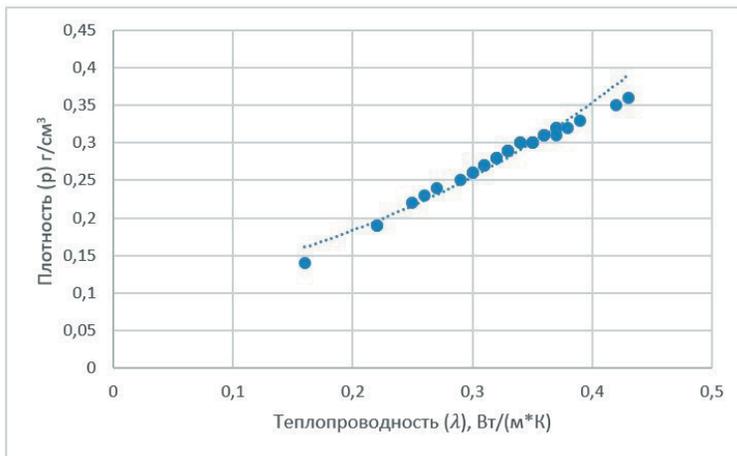


Рис. 6. Зависимости плотности снежного покрова от теплопроводности грунтов

Несмотря на тот факт, что наибольший объем снежного покрова скапливается у основания земляного полотна, в зимне-весенний период наименьшего промерзания в этих местах не наблюдается (рис. 7).

Работы методом бесконтактного измерения ДОЗ-БИЭП выполнялись с использованием аппаратуры ВЕГА. Длина диполей АВ и МН составляла 10 м. Для достижения эффекта зондирования расстояние между центрами диполей ОО' увеличивалось от 10 м до 60 м с шагом 5 м. Метод бесконтактного измерения электрического поля имеет свои преимущества при измерениях в условиях, когда заземление электродов затруднено или невозможно, как в зимний период [20-21].

На участке км 1018 (рис. 7) наблюдается аномальная зона пониженных сопротивлений в земляном полотне, что связано с наличием металлических удерживающих барьерных ограждений, которые являются проводниками.

На участке км 1030 аномалия видна в зимний период времени, она связана с наличием теплоизоляционного материала – пенополистирол «Пеноплэкс». Данный материал является изолятором для тока, в связи с этим прибор фиксировал низкие показатели УЭС под подошвой земляного полотна.

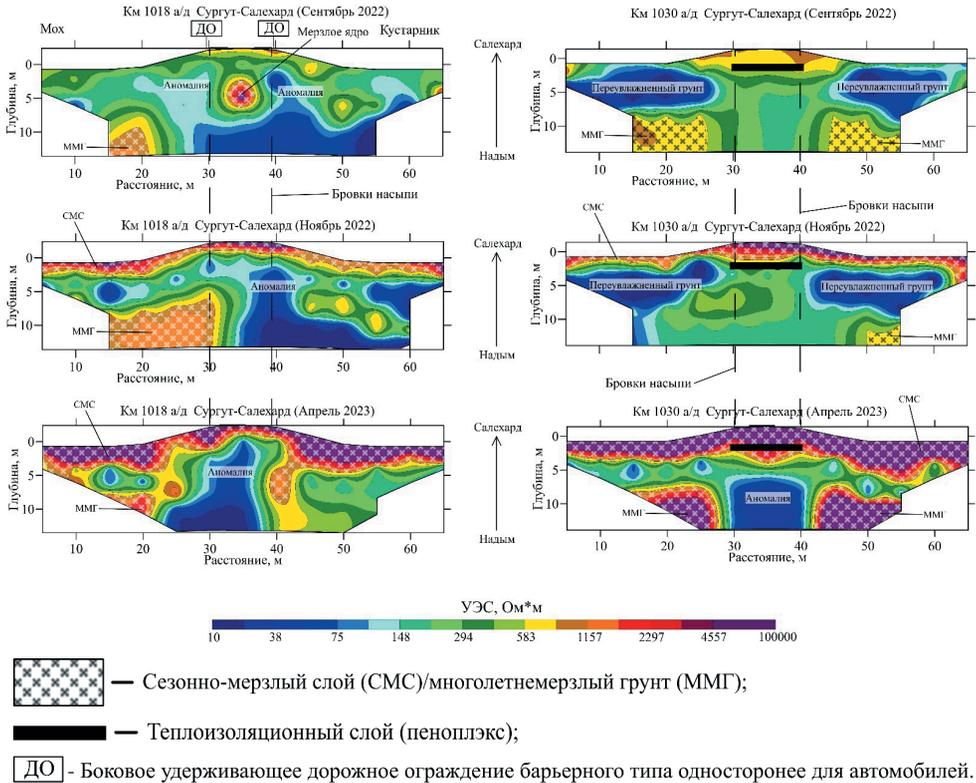


Рис. 7. Поперечные профили удельных электрических сопротивлений на участках км 1032 и км 1018, установка дипольно-осевая

В летне-осенний период в 10 и 25 метрах от дороги на отдельных участках (1008, 1029, 1030 и 1032-й км) наблюдается переувлажнение у поверхности почвенно-растительного покрова. В осенне-зимний период происходит промерзание на поверхности, и влага просачивается в более нижние горизонты грунтов, что, с одной стороны, нейтрализует и сдерживает криотурбированные процессы (выпучивание) под линейными объектами из-за своей пластичности, а с другой стороны, усиливает суффозионные процессы.

Выводы и заключение

Результаты исследования за распределением снежного покрова на отдельных участках вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым показали следующее:

- максимальное снегонакопление наблюдается в период с января по апрель, а наибольшее накопление снега происходит в 10-15 метрах от оси проезжей части;

- господствующее направление ветра в период снегонакопления южное и юго-восточное, чем и выражается неравномерное распределение снежной толщи и увеличение высоты снега относительно правой части дороги в направлении г. Надыма;

- расчеты влагозапаса сопоставимы показателям высоты снежного покрова, а максимальные концентрации наблюдаются у подошвы дорожного полотна;

- средняя плотность снега составляет $0,28 \text{ г/см}^3$ и не зависит от высоты снежного покрова вдоль автомобильной дороги;

- показатели расчета теплопроводности напрямую зависят от плотности снежного покрова и составляют $0,32 \text{ Вт/(м*К)}$, но зависимости по расположению от автомобильной дороги обнаружено не было.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что снегонакопление вдоль автомобильной дороги Салехард – Надым в весенний и весенне-летний периоды является своеобразным тепловым барьером. Однако из-за максимального накопления снежных масс у подошвы земляного полотна и максимального влагозапаса в снеге в этих местах в летний период происходит интенсивная влагоотдача и увеличение сезонно-талого слоя, что непосредственно влияет на оттаивание многолетнемерзлых грунтов и, как следствие, деформации автомобильной дороги.

Список источников

1. Карпушко М.О., Туркова А.О. Влияние климатических условий и физических характеристик снега на зимнее содержание автомобильных дорог под уплотненным снежным покровом. 2017. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология, № 1. DOI: 10.15593/24111678/2017.01.04
2. Кириллин А.Р., Железняк М.Н., Жирков А.Ф., Мисайлов И.Е., Верхотуров А.Г., Сивцев М.А. Особенности снегонакопления и параметры снежного покрова на Эльконском горном массиве // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 7. С. 62-76. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-7-62-76
3. Луцкий С.Я., Шепитько Т.В., Черкасов А.М. Технологический мониторинг сооружения земляного полотна на высокотемпературной мерзлоте. // Сб.: II Международный симпозиум земляного полотна в холодных регионах. Материалы симпозиума / Под ред. А.Л. Исакова и Ц.К. Лю. – 2015. – С. 41–48.
4. Молев Ю.И. Обеспечение дорожной безопасности автомобильного транспорта в зимний период: дис. ... д-ра техн. наук. – Владимир, 2007. – 376 с.
5. Шапран В.В. Факторы, оказывающие влияние на развитие продоль-

- ных профильных деформаций земляного полотна в криолитозоне / В.В. Шапран, З.Т. Фазилова // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18, № 2 (87). – С. 82-101. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-82-101. – EDN WZNPPP.
6. Бабкин Е.М., Хомутов А.В., Дворников Ю.А., Хайруллин Р.Р., Бабкина Е.А. Изменение рельефа торфяника с вытаивающим полигонально-жильным льдом в северной части Пур-Тазовского междуречья // Проблемы региональной экологии. – 2018. – Т. 4. – С. 115–119.
 7. Фазилова З.Т., Шапран В.В., Скворцов О.В. Профильные деформации земляного полотна в условиях вечной мерзлоты // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 11. – С. 22–24.
 8. Кудрявцев С.А., Кажарский А.В. Численное моделирование процесса морозного пучения и оттаивания в зависимости от скорости промерзания грунтов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 2. – С. 105–110.
 9. Жалко М.Е. Влияние эффективности работы дренажной системы автомобильной дороги на безопасность дорожного движения / Жалко М.Е., Соловьев А.В. // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 6 (25). – С. 91. – EDN ТТНКQN.
 10. Глагольев А.А. Разработка комплексной защиты земляного полотна автодорог от переувлажнения атмосферными сточными водами. [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.23.11)/ Глагольев Алексей Анатольевич. – Воронеж, 2007 – 25 с.
 11. Семенова Т.В. Совершенствование метода проектирования системы поверхностного водоотвода автомобильных и городских дорог по условиям обеспечения безопасности движения. [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.23.11)/Семенова Татьяна Викторовна. – Омск, 201 – 25 с.
 12. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гос. ордена Труд. Красного Знамени гидрол. ин-т. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1960. – 171 с. : ил. ; 22 см. – Библиогр.: с. 162-168.
 13. Быков Н.И., Попов Е.С. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона: метод. рук-во. – Красноярск, 2011. – 64 с.
 14. Зарина Л.М., Гильдин С.М. Геоэкологический практикум: Учебно-методическое пособие. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2011. – 60 с.
 15. Катенарная дифференциация геосистем Надымских сопок (Ямало-Ненецкий автономный округ) / Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков [и др.] // Научный вестник Ямало-Ненецкого ав-

- тономного округа. – 2022. – № 3 (116). – С. 80-96. – DOI 10.26110/ARCTIC.2022.116.3.005. – EDN AFYVHA.
16. Observations of the urban boundary layer in a cold climate city / M. Varentsov, P. Konstantinov, I. Repina [et al.] // Urban Climate. – 2023. – Vol. 47. – P. 101351. – DOI 10.1016/j.uclim.2022.101351. – EDN FSCEMO.
 17. Zooming in on Arctic urban nature: Green and blue space in Nadym, Siberia / R. Fedorov, V. Kuklina, O. Sizov [et al.] // Environmental Research Letters. – 2021. – Vol. 16, No. 7. – P. 075009. – DOI 10.1088/1748-9326/ac0fa3. – EDN GBRGQO.
 18. Архив погоды в г. Надым [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://rp5.ru/Архив погоды в Надыме](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Надыме). Заглавие с экрана (дата обращения: 06.07.2022).
 19. Печкин А.С. Экологический мониторинг снежного покрова города Надым / А.С. Печкин, Е.В. Шинкарук, А.С. Красненко // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2022. – № 4 (117). – С. 52-73. – DOI 10.26110/ARCTIC.2022.117.4.003. – EDN YBHNZ.
 20. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Том I / под редакцией проф. И.Н. Модина и доц. А.Г. Яковлева – 2-е изд., перераб. и доп. – Тверь: «ПолиПРЕСС», 2018. – 274 с.
 21. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Т. II. Малоглубинная электроразведка/ Под ред. проф. В.А. Шевнина, доц. А.А. Бобачева. – М.: МГУ, 2013. – 123 с. Изд. 2, перераб. и доп.

Сведения об авторах

Пушкарев Владислав Евгеньевич в 2021 году окончил Тюменский индустриальный университет по специальности «строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». С 2021 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия), младший научный сотрудник. Область научных интересов: строительство автомобильных дорог в криолитозоне, мониторинг автомобильных дорог с применением геофизических методов исследования.

Плесовских Кирилл Александрович в 2021 году окончил Тюменский индустриальный университет по специальности «строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей». С 2021 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия), младший научный сотрудник. Область научных интересов: строительство автомобильных дорог в криолитозоне,

конструкции земляного полотна с применением геосинтетических материалов.

Печкин Александр Сергеевич в 2013 году окончил Саратовский государственный университет по специальности «природопользование». С 2015 года – ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Надым, Россия), научный сотрудник. Область научных интересов: геоэкология, урбаэкология, геохимия.

Участие авторов

Пушкарев В.Е. – сбор и обработка материала, работа с текстом.

Плесовских К.А. – сбор и обработка материала, работа с текстом.

Печкин А.С. – сбор и первичная обработка материала, работа с текстом.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Статья поступила в редакцию 06.07.2023 г., принята к публикации 29.09.2023 г.

The article was submitted on July 6, 2023, accepted for publication on September 29, 2023.