

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ / DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRFIELDS,
BRIDGES AND TRANSPORT TUNNELS**

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1>

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ
ОДЕЖДЫ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

Научная статья

Большакова А.И.^{1,*}, Горячев М.Г.²

¹ ORCID : 0009-0005-0525-4688;

² ORCID : 0000-0001-5414-7110;

^{1,2} Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (arinabolshakova2000[at]yandex.ru)

Аннотация

На территории России отмечаются различные погодные условия в зависимости от местоположения населенных пунктов. На стадии проектирования автомобильной дороги производится проверка дорожной одежды по критерию морозоустойчивости, где средняя глубина промерзания грунта назначается исходя из карты изолиний глубин промерзания грунтов. Сама карта была составлена во времена СССР, а климат претерпел значительные изменения за прошедшие годы в связи с чем встает вопрос об актуальности карты.

В статье приведено сравнение среднегодовых среднемесячных температур воздуха, на основе которых разрабатывалась карта изолиний, и температур наших дней. Также отображено изменение глубин промерзания грунтов. Анализ производился на основе отдельно взятых регионов.

Ключевые слова: глубина промерзания грунта, среднегодовая среднемесячная температура, дорожная одежда.

INFLUENCE OF CHANGES IN SOIL FREEZING DEPTH ON ROAD PAVEMENT DESIGN IN RUSSIA

Research article

Bolshakova A.I.^{1,*}, Goryachev M.G.²

¹ ORCID : 0009-0005-0525-4688;

² ORCID : 0000-0001-5414-7110;

^{1,2} Moscow Automobile and Highway State Technical University, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (arinabolshakova2000[at]yandex.ru)

Abstract

There are different weather conditions on the territory of Russia depending on the location of settlements. At the design stage of a motorway, the road pavement is checked for frost resistance, where the average depth of ground freezing is determined based on the map of soil freezing depth isolines. The map itself was compiled in the USSR times, and the climate has undergone significant changes over the years, which raises the question about the relevance of the map.

The article presents a comparison of average annual mean monthly air temperatures, on the basis of which the map of isolines was developed, and the temperatures of our days. It also shows the change of soil freezing depths. The analysis was made on the basis of separately taken regions.

Keywords: soil frost depth, average annual mean monthly temperature, road pavement.

Введение

В последнее время ученые отмечают значительное изменение температуры воздуха во всем мире. Согласно историческим справкам, впервые климатические влияния на работоспособность автомобильной дороги были зафиксированы в 1926 г., а уже в 1930 г. синоптические пункты наблюдения были организованы на 66 метеостанциях. Главной задачей этих пунктов было наблюдение за дорогами в осенне-весенний период и предоставление постоянной и своевременно обновляющейся информации о метеорологических условиях.

По прошествии длительного времени некоторые метеостанции приостановили свою работу или же открылись новые наблюдательные пункты. Это также означает, что карта глубин промерзания грунтов нуждается в актуализации не только из-за изменения температур в стране, но и из-за наличия новых пунктов, с которых можно получить необходимую информацию о погодно-климатических условиях.

Методы и принципы исследования

Вопросом непосредственно касающемся глубины промерзания грунта занимались многие ученые и исследователи СССР, внесшие большой вклад в теории промерзания грунтов, были установлены ход и скорость промерзания грунта для различных районов страны и разработаны методы расчета глубины промерзания. Г.М. Шахунянц, В.С. Лукьянов, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаев, В.Н. Гайворонский и другие научные деятели позволили дифференцированно подходить к разработке конструкций земляного полотна в различных климатических условиях.

Л.А. Преферансов на примере двух зим в разные годы установил, что в зиму с частыми длительными оттепелями (1937 год) была зафиксирована низкая скорость промерзания грунта с долговременным неизменяющимся положением

границы промерзания на фиксированной глубине, на которой наблюдалось образование скопления ледяных прослоек. В более суровую зиму (1939 год) ученый отметил быстрое промерзание верхней части земляного полотна [1].

В конце 1970-х годов научные труды Н.А. Пузакова [2] способствовали развитию нормативной методики для определения величины морозного пучения, после чего, под руководством М.Б. Корсунского [3], методика перешла из теоретического применения в практическое.

При проектировании автомобильной дороги важным этапом для обеспечения ее эффективности при движении автотранспорта и возможности долгосрочного пользования является назначение конструкции дорожной одежды.

В ходе проектирования необходимо производить проверку дорожной одежды по критерию морозоустойчивости [4], [5], однако, при определении величины возможного морозного пучения возникает необходимость использования карты изолиний глубины промерзания грунтов. Карта впервые была проиллюстрирована в СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» [6]. Она составлялась на основе формулы, представленной в СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений» [7].

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t} \quad (1)$$

где:

d_0 — величина, принимаемая равной:

- для суглинков и глин – 0,23;
- супесей, песков мелких и пылеватых – 0,28;
- песков гравелистых, крупных и средней крупности – 0,3;
- крупнообломочных грунтов – 0,34.

M_t – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в исследуемом районе, принимаемый по нормативной литературе, при отсутствии в ней данных – по результатам наблюдений гидрометеорологической станции.

А также по банку данных о температуре за период с 1960 по 1990 гг.

За последние десятилетия сумма среднемесячных отрицательных температур воздуха не только в стране, но и во всем мире, заметно изменилась. В среднем температура изменилась на 0,74 °С в «сторону» потепления, а темпы роста все также растут. Согласно модельным расчетам [8] на территории России площадь снежного покрова будет снижаться и относительно 1995-2014 гг. ее сокращение составит 13±4%, что будет иметь эффект для показателя глубины промерзания грунта.

Производя анализ температур, используемых для создания карты изолиний и температур в период с 1991 по 2020 гг. можно сделать вывод о потеплении на территории России на примере Республики Алтай (рисунок 1), и Кемеровской области (рисунок 3), однако не стоит исключать мест, где температура наоборот понизилась – Калужская область (рисунок 2).

Из 226 проанализированных точек, отмеченных в СНиП 23-01-99 [9], потепление различной степени зафиксировано в 221, что составляет 97,8 %. По состоянию на 2021 г. отклонение от среднего значения температуры за 1961-1990 гг. составила порядка +1,35 °С [10], а также был спрогнозирован рост температуры приземного воздуха для России до 2030 г. по отношению к базовым значениям за период 1971-2000 гг. Исходя из этого, мы можем предполагать, что глубина промерзания также изменилась по отношению к большей части территории России, а, то есть уменьшилась.

Поскольку существующая карта изолиний глубин промерзания была сформирована на основании формулы (1), то и изменение величины промерзания грунтов необходимо определять согласно этой формулы.

Изменение глубины промерзания грунтов по Республики Алтай, в соответствии с данными приведенными на рисунке 1, представлено в таблице 1. Аналогично расчет производился для Калужской области, а данные сведены в таблице 2 и на рисунке 2, и для Кемеровской области – таблице 3 и рисунке 3.

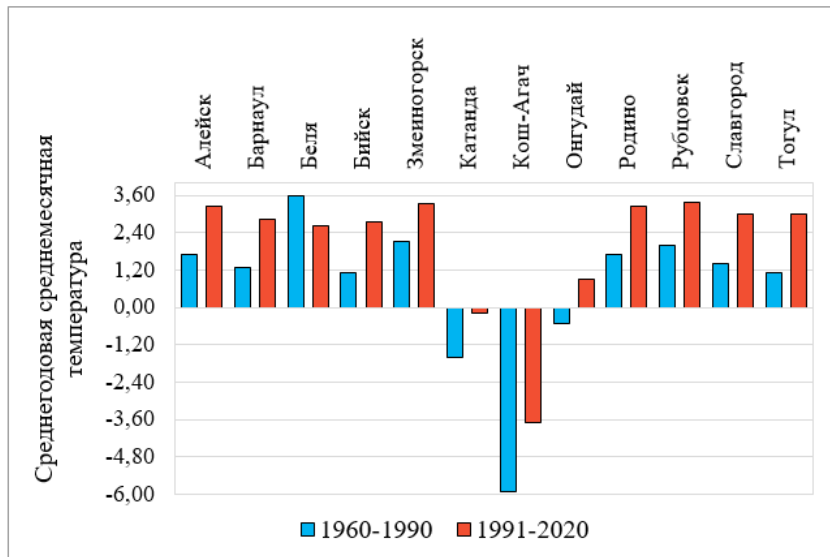


Рисунок 1 - Изменение среднегодовой среднемесячной температуры в Республике Алтай
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1.1>

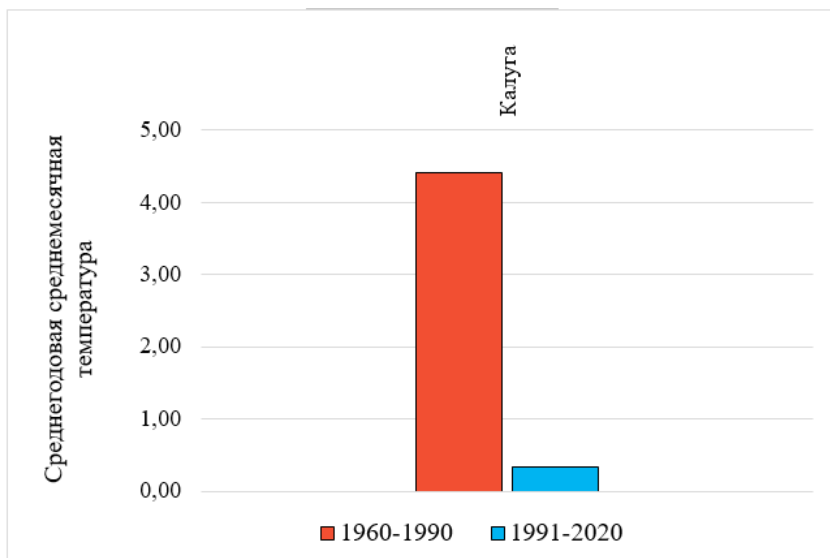


Рисунок 2 - Изменение среднегодовой среднемесячной температуры в Калужской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1.2>

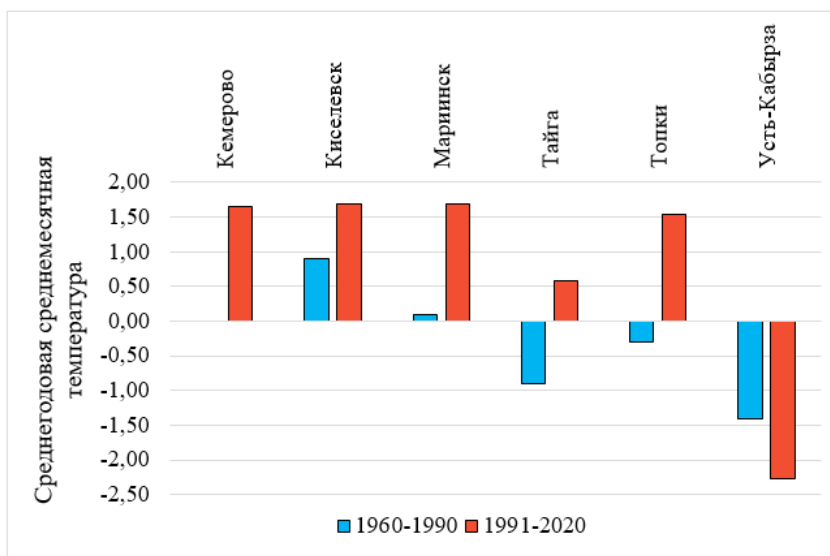


Рисунок 3 - Изменение среднегодовой среднемесячной температуры в Кемеровской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1.3>

Таблица 1 - Изменение глубины промерзания в Республике Алтай

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1.4>

Населенный пункт	Период, годы	Глубина промерзания (расчёт по СНиП 2.02.01-83)		
		Суглинки и глины, м	Супеси, пески мелкие и пылеватые, м	Пески гравелистые, крупные, средней крупности, м
Алейск	1960-1990	1,86	2,27	2,43
	1991-2020	1,69	2,06	2,2
Барнаул	1960-1990	1,87	2,27	2,43
	1991-2020	1,71	2,08	2,23
Бея	1960-1990	1,3	1,58	1,69
	1991-2020	1,61	1,96	2,1
Бийск	1960-1990	1,88	2,29	2,45
	1991-2020	1,72	2,09	2,24
Змеиногорск	1960-1990	1,74	2,12	2,27
	1991-2020	1,61	1,96	2,1
Катанда	1960-1990	2,09	2,54	2,72
	1991-2020	1,95	2,37	2,54
Кош-Агач	1960-1990	2,54	3,09	3,31
	1991-2020	2,32	2,82	3,02
Онгудай	1960-1990	1,99	2,42	2,59
	1991-2020	1,85	2,25	2,41
Родио	1960-1990	1,89	2,3	2,46
	1991-2020	1,71	2,08	2,23
Рубцовск	1960-1990	1,86	2,26	2,42
	1991-2020	1,7	2,07	2,22
Славгород	1960-1990	1,95	2,37	2,54
	1991-2020	1,78	2,16	2,32
Тогул	1960-1990	1,84	2,24	2,4
	1991-2020	1,64	1,99	2,13

В среднем глубина промерзания по Республике Алтай изменилась у: суглинков и глин на 0,18 м; супесей, песков мелких и пылеватых на 0,22 м; песков гравелистых, крупных, средней крупности на 0,23 м.

Таблица 2 - Изменение глубины промерзания в Калужской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1.5>

Населенный пункт	Период	Глубина промерзания (расчёт по СНиП 2.02.01-83)		
		Суглинки и глины, м	Супеси, пески мелкие и пылеватые, м	Пески гравелистые, крупные, средней крупности, м
Калуга	1960-1990	1,28	1,56	1,67
	1991-2020	1,91	2,32	2,49

По Калужской области, на примере Калуги, изменение глубины промерзания составляет у: суглинков и глин на 0,63 м; супесей, песков мелких и пылеватых на 0,76 м; песков гравелистых, крупных, средней крупности на 0,82 м.

Таблица 3 - Изменение глубины промерзания в Кемеровской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1.6>

Населенный пункт	Период	Глубина промерзания (расчёт по СНиП 2.02.01-83)		
		Суглинки и глины, м	Супеси, пески мелкие и пылеватые, м	Пески гравелистые, крупные, средней крупности, м
Кемерово	1960-1990	1,96	2,38	2,55
	1991-2020	1,79	2,17	2,33
Киселевск	1960-1990	1,85	2,25	2,41
	1991-2020	1,73	2,11	2,26
Мариинск	1960-1990	1,9	2,31	2,48
	1991-2020	1,74	2,12	2,27
Тайга	1960-1990	1,98	2,41	2,58
	1991-2020	1,82	2,22	2,37
Топки	1960-1990	1,95	2,37	2,54
	1991-2020	1,76	2,14	2,29
Усть-Кабырза	1960-1990	2,06	2,51	2,69
	1991-2020	2,32	2,83	3,03

В среднем глубина промерзания по Кемеровской области изменилась у: суглинков и глин на 0,09 м; супесей, песков мелких и пылеватых на 0,11 м; песков гравелистых, крупных, средней крупности на 0,12 м.

Наибольшее различие в глубинах промерзания среди представленных регионов было зафиксировано в Калужской области. Исходя из этого будут производиться дальнейшие расчеты.

При сопоставлении полученных величин глубины промерзания суглинков и глин по расчету с действующей картой изолиний отметим, что величина промерзания в Калуге в обоих случаях равна приблизительно 1,2 м (рисунок 4).

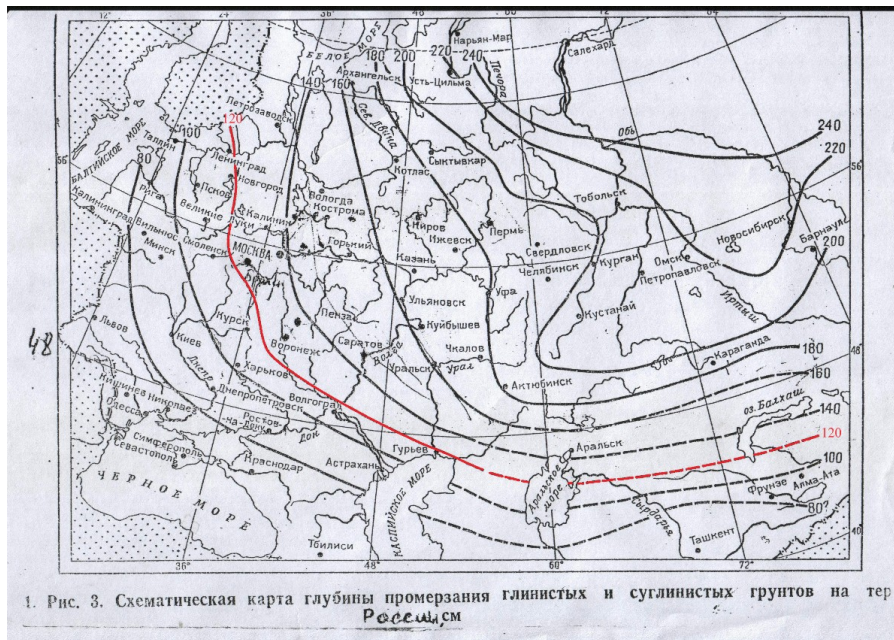


Рисунок 4 - Изолиния глубины промерзания грунта для Калуги
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1.7>

Также на примере Калуги выявим влияния изменения глубины промерзания грунта на конструкцию дорожной одежды через программу Indor Pavement (рисунок 5)

- Асфальтобетон А16Вн для верхнего слоя покрытия на битумном вяжущем марки БНД 70/100 - 70 мм;
- Асфальтобетон А22Нн для нижнего слоя покрытия на битумном вяжущем марки БНД 70/100 - 80 мм;
- Щебень фр. 80-120 уложенный по способу заклинки щебнем фр. 40-80 - 150 мм;
- Песок средней крупности с Кф > 1 - 150 - 310 мм;
- Грунт обработанный цементом М40 - 250 мм

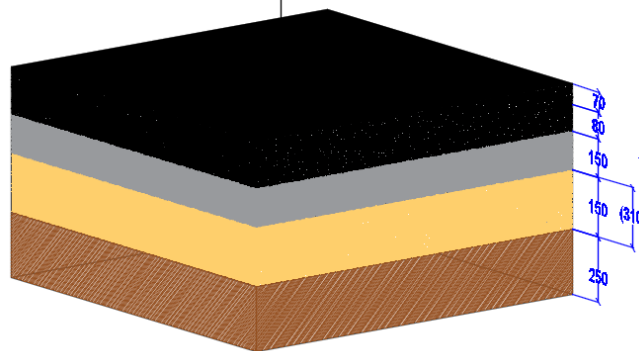


Рисунок 5 - Проверка дорожной одежды по критерию морозоустойчивости
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.51.1.8>

Расчет для показателей, взятых за период 1960...1990 гг. Толщина песчаного слоя в этом случае составляет 150 мм. Величина допустимого значения морозного пучения снижается на 20 %, так как принятый срок службы дорожной одежды (Тсл) более 10 лет:

- $l_{доп} = 4,8$ см;
- $z_{пр} = 128$ см;
- $K_{гв} = 0,54$; $K_{пл} = 1,10$; $K_{гр} = 1,30$; $K_{нагр} = 1,07$; $K_{вл} = 1,12$.

$$l_{пуч.ср} = \frac{4,80}{0,54 * 1,10 * 1,30 * 1,07 * 1,12} = 5,15 \text{ см} \tag{2}$$

По номограмме определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{до.тр} = 64$ см.
Фактическая толщина дорожной одежды $h_{до} = 70$ см

$$h_{до} \geq h_{до.тр} \tag{3}$$

Расчет для показателей, взятых за период 1991...2020 гг. Толщина дополнительного слоя основания в этом случае равна 310 мм.

Величина допустимого значения морозного пучения снижается на 20 %, так как принятый срок службы дорожной одежды (Тсл) более 10 лет:

$l_{доп} = 4,8$ см;

$z_{пр} = 191$ см;

$K_{угв} = 0,54$; $K_{пл} = 1,10$; $K_{гр} = 1,30$; $K_{нагр} = 0,93$; $K_{вл} = 1,12$.

$$l_{пуч.ср} = \frac{3,20}{0,54*1,10*1,30*0,93*1,12} = 5,91 \text{ см} \quad (4)$$

По номограмме определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{до.тр} = 81$ см.

Фактическая толщина дорожной одежды $h_{до} = 89$ см

$$h_{до} \geq h_{до.тр} \quad (5)$$

После произведенной проверки, где разность глубин промерзания в исследуемых периодах составила 63 см, видно, что конструкция дорожной одежды также осталась неизменной за исключением дополнительного слоя основания. Вследствие чего толщина дорожной одежды составляет разницу в 16 см.

Заключение

Почти на всей территории Российской Федерации, температура воздуха за последние 30 лет заметно увеличилась, за исключением единичных случаев. В дорожную одежду, проектируемую с использованием имеющейся карты глубины промерзания грунта, закладывается излишняя толщина морозозащитного слоя, что приводит к удорожанию конструкции. Требуется актуализация существующей карты глубины промерзания грунтов с учетом изменения климатических характеристик.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Преферансов Л. А. Водный режим дорожного полотна / Л. А. Преферансов // Регулирование водного режима дорожных оснований. — М, 1946.
2. Золотарь И. А. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд : учебник / И. А. Золотарь, Н. А. Пузаков, В. М. Сиденко. — Москва : Транспорт, 1971. — 416 с.
3. Корсунский М. Б. Основы комплексного проектирования конструкций дорожных одежд и земляного полотна : дисс. докт. техн. наук. / М. Б. Корсунский. — Л., 1970. — 557 с.
4. ПНСТ 265-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — М. : Стандартинформ, 2018.
5. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд // Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. — М., 2001.
6. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика // Госстрой СССР. — М. : Стройиздат, 1983. — 136 с.
7. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. — М. : ФГУП ЦПП, 2006. — 48 с.
8. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — СПб. : Научно-технологические технологии, 2022. — 124 с.
9. СНиП 23-01-99. Строительная климатология // Госстрой. — М., 2006. — 113 с.
10. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 гг. и их влияние на отрасль экономики // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. — Москва : Росгидромет, 2005.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Preferansov L. A. Vodnyj rezhim dorozhnogo polotna [The water regime of the roadway] / L. A. Preferansov // Regulirovanie vodnogo rezhima dorozhnyh osnovanij [Regulation of the water regime of road foundations]. — M, 1946. [in Russian]
2. Zolotar I. A. Vodno-teplovoy rezhim zemljanogo polotna i dorozhnyh odezhd [The water-thermal regime of the roadbed and road clothes] : textbook / I. A. Zolotar, N. A. Puzakov, V. M. Sidenko. — Moscow : Transport, 1971. — 416 p. [in Russian]
3. Korsunsky M. B. Osnovy kompleksnogo projektirovaniya konstrukcij dorozhnyh odezhd i zemljanogo polotna [Fundamentals of integrated design of structures of road clothes and roadbed] : diss. Doct. Technical Sciences / M. B. Korsunsky. — L., 1970. — 557 p. [in Russian]
4. PNST 265-2018. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovaniya. Projektirovanie nezhestkikh dorozhnyh odezhd [PST 265-2018. Public roads. Designing of non-rigid road clothes] // Federal'noe agentstvo po tehničeskemu regulirovaniju i metrologii [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology]. — M. : Standartinform, 2018. [in Russian]

5. ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhjostkih dorozhnyh odezhd [ODN 218.046-01. Designing of non-rigid road clothes] // Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii. Gosudarstvennaja sluzhba dorozhnogo hozjajstva [Ministry of Transport of the Russian Federation. State Road Management Service]. — M., 2001. [in Russian]
6. SNiP 2.01.01-82. Stroitel'naja klimatologija i gsofizika [SNiP 2.01.01-82. Building climatology and geophysics] // Gosstroj SSSR [Gosstroy of the USSR]. — M. : Stroyizdat, 1983. — 136 p. [in Russian]
7. SNiP 2.02.01-83. Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij [SNiP 2.02.01-83. Foundations of buildings and structures]. — M. : FSUE CCI, 2006. — 48 p. [in Russian]
8. Tretij ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshee rezjume [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. — St. Petersburg : High-tech technologies, 2022. — 124 p. [in Russian]
9. SNiP 23-01-99. Stroitel'naja klimatologija [SNiP 23-01-99. Building climatology] // Gosstroy. — M., 2006. — 113 p. [in Russian]
10. Strategicheskij prognoz izmenenij klimata Rossijskoj Federacii na period do 2010-2015 gg. i ih vlijanie na otrasli jekonomiki [Strategic forecast of climate changes in the Russian Federation for the period up to 2010-2015 and their impact on economic sectors] // Federal'naja sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhajushhej sredy [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring]. — Moscow : Roshydromet, 2005. [in Russian]