

**Сарсембаева А.С.\*<sup>1</sup>, Мусаханова С.Т.<sup>1</sup>, Сагинов З.С.<sup>2</sup>, Жусупбеков А.Ж.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан<sup>2</sup>РГП на ПХВ «Национальный центр качества дорожных активов», Астана, Казахстан<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, С-Петербург, Россия(E-mail: [assel\\_enu@mail.ru](mailto:assel_enu@mail.ru))**Мониторинг состояния автомобильных дорог в зимний период в городе Нур-Султан**

**Аннотация.** В настоящей работе выполнен анализ физических и механических свойств грунтов оснований на участке автомобильной дороги в геоклиматических условиях города Нур-Султан. Пробы грунтов земляного полотна были изъяты в зимний период для определения плотности, природной влажности, а также пластических свойств грунтов в лабораторных условиях. Прочностные и деформационные характеристики были определены путем испытаний на компрессионных и сдвиговых проборах. Одновременно проводился мониторинг температуры в зимний период при помощи установки сенсоров в слоях дорожной одежды и земляного полотна автомобильной дороги. Была определена глубина промерзания в зимнее время, а также проанализировано распределение температуры в глубине дорожной одежды и грунтов основания. Установлено, что слои дорожной одежды остаются в стабильно мерзлом состоянии при краткосрочных повышениях температуры до +6,6 °С за счет субкомпенсации тепла (теплопередачи) подлежащих слоев и имеют достаточный запас прочности. А наибольшим температурным воздействиям подвергаются слои на глубину 25 см от поверхности дорожного покрытия. Для предотвращения негативного воздействия и неравномерной деформации земляного полотна вследствие сезонного промерзания предлагается устройство дополнительной пароизоляции на глубине 57 см, ниже - подстилающего слоя гравийно-песчаной смеси.

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, промерзание дорожной одежды, мониторинг температуры, земляное полотно

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-104-113](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-104-113)**Введение**

Отрицательные температуры, а также динамическое воздействие оказывают существенное влияние на деформационные и прочностные свойства материалов дорожной одежды, содержащих органическое вяжущее (асфальтобетоны; грунты, обработанные органическими вяжущими) [1,2]. Деформационные и прочностные характеристики глинистых грунтов также сильно зависят от влажности [3]. При низких температурах часть воды, содержащейся в грунте земляного полотна автомобильной дороги, переходит из жидкого состояния в твердое (лед) [4]. Промерзание временно улучшает деформационные и прочностные характеристики грунта земляного полотна [5,6], однако может повлиять на упругопластическое состояние дорожной одежды, которая подвержена воздействию температурного расширения и динамическим нагрузкам при эксплуатации в зимнее время. Накопление влаги под автомобильной дорогой является основной причиной ее разрушения во время таяния в весенний период. Понимание процессов промерзания-оттаивания и мониторинг глубины промерзания способствует усовершенствованию конструкции автомобильных дорог на стадии проектирования и реконструкции, а также увеличению несущей способности и, следовательно, улучшению их пропускной способности. Так, в 2010 году были установлены датчики в конструкцию

автомобильной дороги Астана-Боровое на участке 76км+30 [2], в 2013-2016 гг. был проведен мониторинг температурно-влажностного режима трассы Алматы-Бишкек на участке 58км+895 [7], в 2017 г. - Кызылорда-Шымкент 297км+00 [8], Атырау-Астрахань 598км+50 [9], в 2013-2015 гг. - Оскемен-Зыряновск 0км+75 [10].

С целью изучения состояния автомобильных дорог и оценки их несущей способности при воздействии отрицательных температур был исследован участок автомобильной дороги в условиях города Нур-Султан. Для этого проводился мониторинг температуры дорожной одежды и земляного полотна в течение 31 календарного дня зимнего периода 2021–22 годов, а также были изъяты образцы грунта для более подробного лабораторного исследования.

### Методы исследования

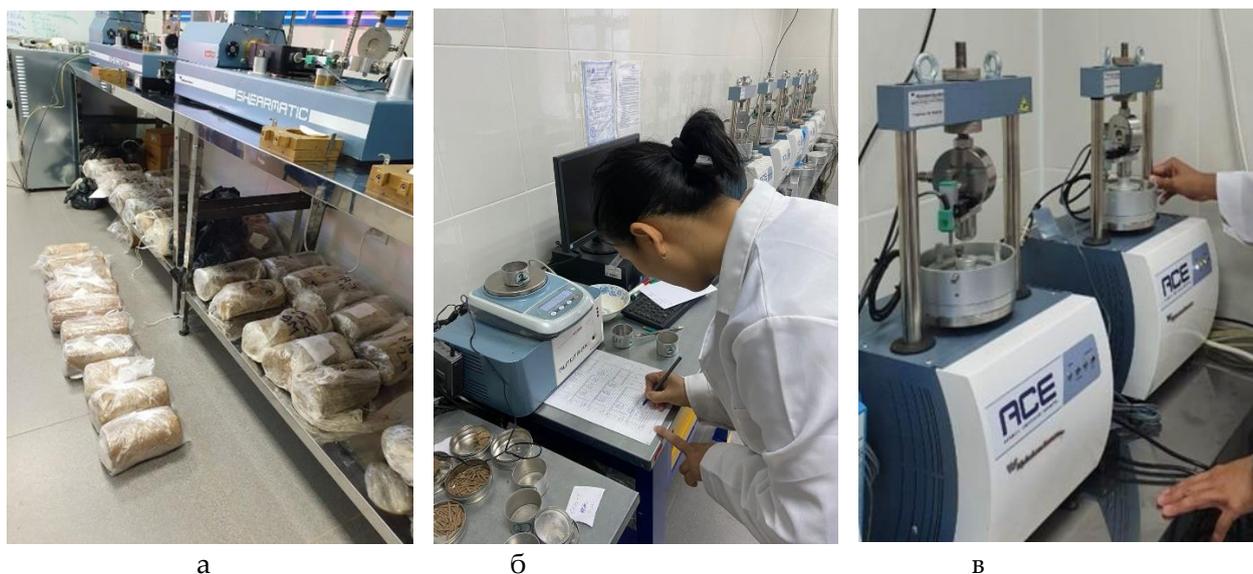
Исследуемый участок автомобильной дороги располагается близи аэропорта г. Нур-Султан, в районе шоссе Каркаралы, в 8 км от объездной дороги в сторону п. Косшы. Конструкция дорожной одежды и толщина слоев представлена в таблице 1.

Таблица 1

#### Конструкция дорожной одежды и слоев основания

Слои	Фактическая конструкция и толщина конструктивных слоев, см	Толщина слоя, см
1	Верхний слой покрытия из горячей плотной асфальтобетонной смеси типа Б, марки I	5см
2	Нижний слой покрытия из горячей крупнозернистой пористой асфальтобетонной смеси, марки I	10см
3	Верхний слой основания из горячей высокопористой а/б смеси	12см
4	Нижний слой основания из щебеночно-песчаной смеси С-4	15см
5	Подстилающий слой из гравийно-песчаной смеси толщиной	15см
6	Грунт основания – суглинок легкий песчанистый. По полевому описанию суглинок светло-коричневого цвета, твердый, с прослоями глины на глубине 2.4м с мощностью до 0.2м.	243см

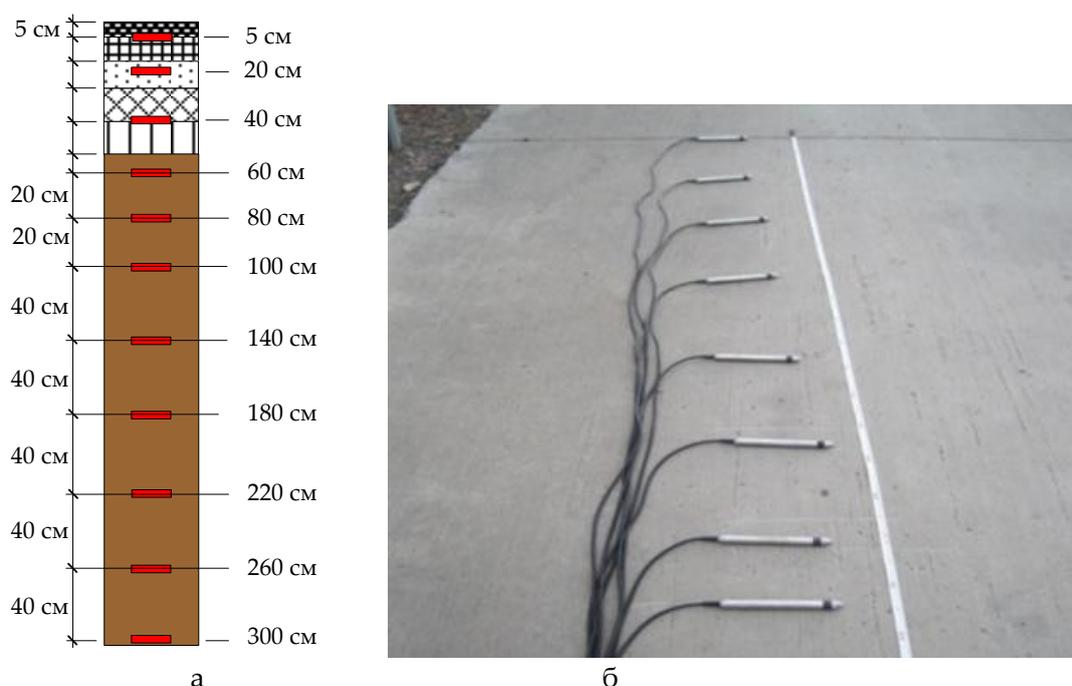
Все грунты, вскрытые на площадке, по результатам изысканий, являются водовмещающими отложениями. Режим грунтовых вод подвержен сезонным колебаниям: минимальное стояние отмечается в феврале, максимальное приходится на конец мая. Амплитуда колебания уровня подземных вод составляет 1,0-2.0 м. Питание грунтовых вод происходит в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков. Областью питания служит область распространения водоносного горизонта.



**Рисунок 1. Лабораторные исследования грунтов основания: а) отбор и маркировка кернов; б) определение пластических свойств; в) определение прочностных и фильтрационных характеристик на компрессионном приборе (одеометре)**

В январе 2022 г. Были извлечены керны грунта основания для исследования физических и прочностных характеристик в лабораторных условиях (рисунок 1). Природная влажность суглинков была определена путем высушивания в печи при температуре от 105 до 107 градусов до постоянного веса. Влажность на пределе текучести и раскатывания определена согласно ГОСТ 20522-2012 [11]. Удельное сцепление и угол внутреннего трения находились путем испытания на одноосный сдвиг. Коэффициент фильтрации был определен компрессионным испытанием в жестком металлическом кольце компрессионного прибора (одеометра).

Наблюдения температуры велись путем автоматического замера сенсорами, заложенными в металлических капсулах, установленными на глубине 0,05; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,4; 1,8; 2,2; 2,6 и 3,0 м от поверхности земли, а также температуры воздуха принятой здесь как температура поверхности земли 0 см (рисунок 2).



**Рисунок 2. Установка температурных датчиков: а) расположение сенсоров в слоях дорожной одежды и основаниях автомобильных дорог; б) общий вид температурных датчиков в металлических капсулах**

### Результаты исследования

Лабораторными методами исследования был определен коэффициент фильтрации грунтов для четвертичных суглинков – 0,01-0,13 м/сут. Грунтовые воды на данном участке дороги характеризуются как хлоридно-натриевые, очень жесткие, слабощелочные, солоноватые. По отношению к бетонам марки W4 на портландцементе грунтовые воды неагрессивные и слабоагрессивные, по отношению к железобетонным конструкциям среднеагрессивные. Коррозионная агрессивность грунтовых вод по отношению к свинцовой и алюминиевой оболочкам кабеля – высокая. Подземные воды по отношению к стальным конструкциям (по Штаблеру) корродирующие. Основные физические характеристики грунтов основания приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

### Результаты лабораторных анализов грунтов основания

	Наименование показателей	Единица измерения	Показатели
1	2	2	3
1	Природная влажность	%	20,2
2	Влажность на пределе текучести	%	26,5
3	Влажность на пределе раскатывания	%	15,1
4	Число пластичности %	%	11,6
5	Консистенция		0,5
6	Плотность грунта	г/см <sup>3</sup>	2,00
7	Плотность частиц грунта	г/см <sup>3</sup>	2,70

8	Коэффициент пористости	доли ед.	0,700
9	Степень влажности	доли ед.	0,800
10	Модуль деформации	МПа	6,50
11	Удельное сцепление	кПа	23,5
12	Угол внутреннего трения	градус	22

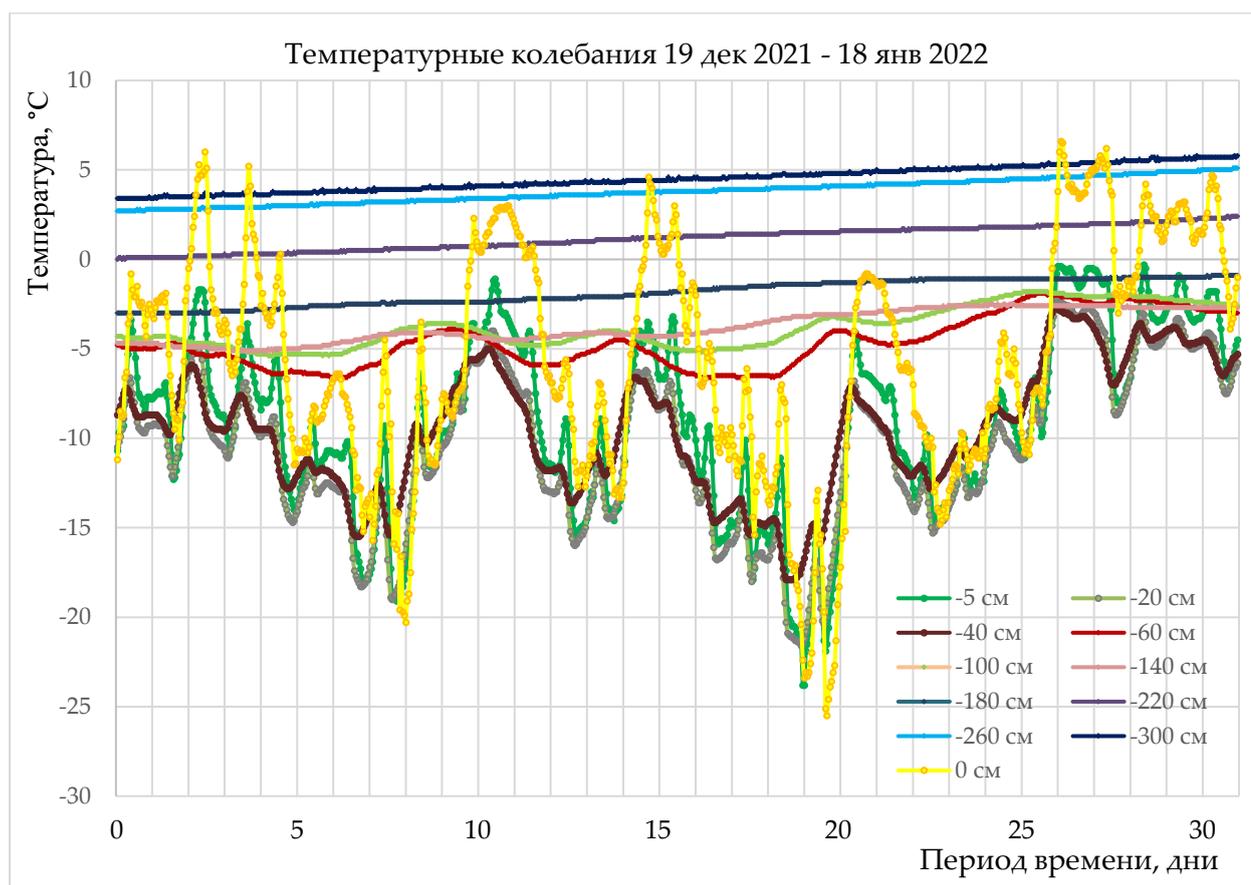
Анализ механических свойств грунтов оснований приведен в таблице 3. Частные значения характеристик прочностных и деформационных свойств четвертичных суглинков подвергались статической обработке согласно требованиями ГОСТ 20522-2012 и в результате получены нормативные и расчетные значения характеристик, приведенные в таблице. Модуль деформации составляет 6,50 МПа. За расчетное значение модуля деформации рекомендуется принять значение, равное 6,0 МПа.

Таблица 3

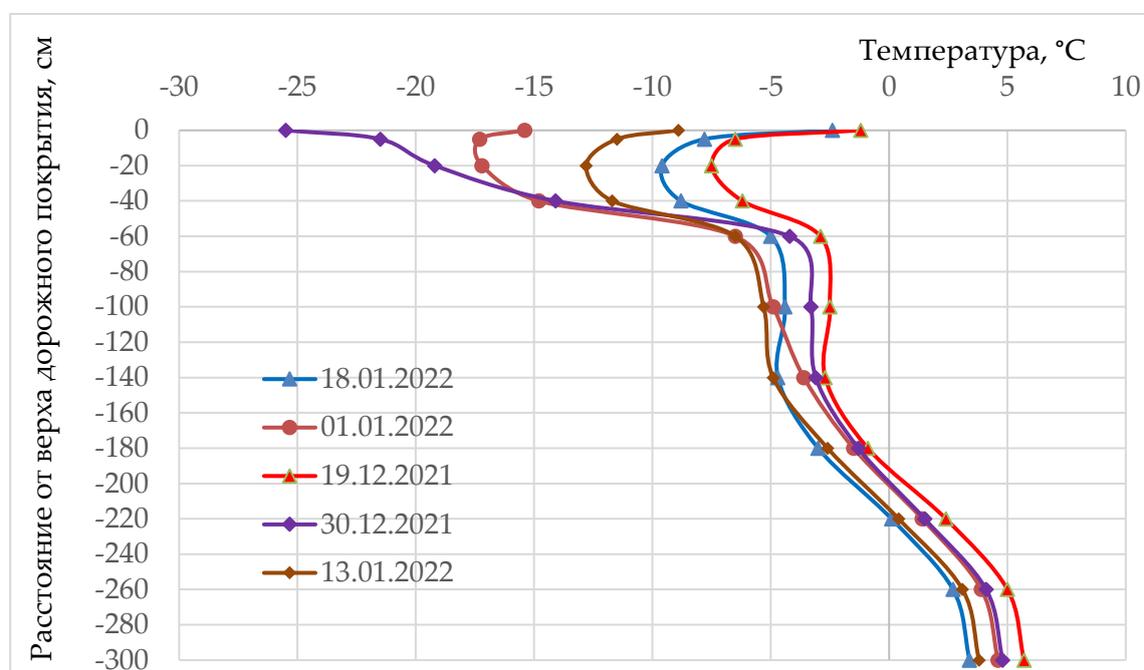
### Механические и деформационные характеристики грунтов основания

	Наименование характеристик	Единица измерения	Значения характеристики	по деформациям $\alpha=0,85$	по несущей способности $\alpha=0,95$
1.	Удельное сцепление	кПа	23,5	13,0	6,5
2.	Угол внутреннего трения	градус	22	21	20
3.	Модуль деформации	МПа	6,50	6,00	-
4.	Плотность грунта	г/см <sup>3</sup>	2,00	1,98	1,97

Мониторинг температуры осуществлялся в зимний период с 19 декабря 2021 г. по 18 января 2022 г. Как показано на рисунке 3, среднее значение температуры воздуха было  $-5,5$  °С, при максимальных значениях температуры, достигавших  $+6,6$  °С, минимальных до  $-25,5$  °С. В целом данный период охарактеризовался более высокими средними значениями по сравнению с данными предыдущих годов. Наибольшим температурным флуктуациям были подтверждены верхние слои дорожной одежды с наиболее плотной структурой. Было отмечено 13 кратковременных переходов через  $0$ °С по температуре воздуха, однако слои дорожной одежды оставались в замороженном состоянии и так и не пересекли отметку  $0$ °С, очевидно, за счет компенсации теплопередачи подлежащих слоев с более низкой температурой. Относительная стабилизация грунтов основания достигла на глубине  $-1.2$  м при отрицательных температурах в пределах  $-5$  - $-2$ °С.



**Рисунок 3. Температурные колебания в слоях дорожной одежды и основаниях автомобильных дорог в зимнее время г. Нур-Султан**



**Рисунок 4. Распределение температуры по глубине**

На рисунке 4 представлены графики распределения температуры по глубине от верха дорожной одежды до 3 м грунтового основания. Замеры были выполнены на 8 утра указанных дней. Глубина промерзания основания автомобильной дороги на данном участке равна -2.2 м с

дальнейшим уменьшением до -2 м вследствие повышения среднесуточной температуры воздуха. При повышении температуры воздуха под воздействием оказываются только 25 см от верха дорожной одежды, что соответствует верхнему слою основания из горячей высокопористой асфальтобетонной смеси. Нижний слой основания из щебеночно-песчаной смеси менее подвержен воздействию суточных колебаний воздуха.

### Заключение

1. Грунты основания были классифицированы как четвертичные суглинки с коэффициентом фильтрации 0,01-0,13 м/сут и числом пластичности 11,6 что соответствует легким суглинкам.

2. Грунтовые основания автомобильных дорог, как и слои дорожной одежды, остаются в стабильно мерзлом состоянии при краткосрочных повышениях температуры до +6,6 °С за счет субкомпенсации тепла (теплопередачи) подлежащих слоев и имеют достаточный запас прочности.

3. При краткосрочных повышениях температуры воздуха под воздействием оказываются только 25 см от верха дорожной одежды, что соответствует верхнему слою основания из горячей высокопористой асфальтобетонной смеси.

4. Суточные колебания температуры в верхнем покрытии из горячей плотной асфальтобетонной смеси составляют в среднем 2-5 °С при флуктуации температуры воздуха 6-12 °С.

5. Для предотвращения негативного воздействия и неравномерной деформации земляного полотна необходимо предусмотреть дополнительную пароизоляцию на глубине 57 см, перед устройством подстилающего слоя гравийно-песчаной смеси.

### Список литературы

1. Bagdat Teltayev, Elena Suppes, Jiankun Liu. Impact of freezing of subgrade on pavement deformation. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul 2017, p. 1419-1422. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85045254642&partnerID=MN8TOARS>. (дата обращения: 18.05.2022).

2. Teltayev, B., Suppes, E. Freezing characteristics of a highway subgrade. Science in Cold and Arid Regions. 2017. No. 9(3). Pp. 325-330. doi: [10.3724/SP.J.1226.2017.00325](https://doi.org/10.3724/SP.J.1226.2017.00325). <http://www.scar.ac.cn/EN/10.3724/SP.J.1226.2017.00325>. (дата обращения: 18.05.2022).

3. Teltayev B.B., Liu J., Suppes E.A. Distribution of temperature, moisture, stress and strain in the highway. Magazine of Civil Engineering. 2018. 7 (83). Pp. 102–113. DOI: 10.18720/MCE.83.10. - <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85063795909&partnerID=MN8TOARS>. (дата обращения: 18.05.2022).

4. Assel Sarsembayeva, Askar Zhussupbekov, Philip E. F. Collins. Heat and Mass Transfer by Vapour in Freezing Soils. Energies 2022, 15, 1515. <https://doi.org/10.3390/en15041515>. - <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/4/1515>. (дата обращения: 18.05.2022).

5. Teltayev B.B., Zhussupbekov A., Shakhmov Z., Suppes E.A. Field Experimental Investigations of Freezing and Thawing of Highway Subgrade. In: Petriaev A., Konon A. (eds) Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 1. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 49. Springer, Singapore, pp 35-47 | 03 January, 2020. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85046009145&partnerID=MN8TOARS>. (дата обращения: 18.05.2022).

6. Assel Sarsembayeva, Askar Zhussupbekov. Experimental study of deicing chemical redistribution and moisture mass transfer in highway subsoils during the unidirectional freezing. Transportation Geotechnics, 2021, 26, 100426. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100426>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214391220303147?via%3Dihub>. (дата

обращения: 18.05.2022).

7. Teltayev, B.B., A.Zh. Zhussupbekov, A.Zh., Shakhmov, Zh., Suppes, E.A., *Transoilcold* 2019, 088, v3 (major): 'Field Experimental Investigations of Freezing and Thawing of Highway Subgrade', DOI:10.1007/978-981-15-0450-1\_5.

8. Teltayev, B.B., Suppes, E.A. Temperature and moisture in a highway in the south of Kazakhstan, *Transportation Geotechnics*. 2019. 21. Pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.trgeo.2019.100292.

9. Teltayev B.B., Loprencipe, G., Bonin, G., Suppes, E.A., Tileu, K. Temperature and moisture in highways in different climatic regions. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 8 (100). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000610836600010>.

10. Teltayev B.B., Suppes E.A. Temperature in pavement and subgrade and its effect on moisture. *Case Studies in Thermal Engineering*. Volume 13, March 2019, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.11.014>.

11. ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М.: Стандартинформ. С. 20, 2022. <https://docs.cntd.ru/document/1200096130>. (дата обращения: 18.05.2022).

**Сарсембаева А.С.<sup>\*1</sup>, Мусаханова С.Т.<sup>1</sup>, Сагинов З.С.<sup>2</sup>, Жусупбеков А.Ж.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>«Жол активтерінің ұлттық сапа орталығы» шаруашылық жүргізу құқығындағы Республикалық мемлекеттік кәсіпорын, Астана, Қазақстан

<sup>3</sup>Санкт-Петербург мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Санкт-Петербург, Ресей

### **Нұр-Сұлтан қаласындағы қысқы уақыттағы жолдардың жағдайын бақылау**

**Андатпа.** Бұл жұмыста Нұр-Сұлтан қаласының геоклиматтық жағдайында тас жол учаскесіндегі іргетас топырақтарының физика-механикалық қасиеттеріне талдау жасалды. Зертханалық жағдайда топырақтың тығыздығын, табиғи ылғалдылығын және пластикалық қасиеттерін анықтау үшін жер асты қабатының топырақ үлгілері қыста алынды. Беріктік пен деформациялық сипаттамалар қысу және ығысу сынақтарымен анықталды. Сонымен қатар тас жолдың жабындары мен жерасты қабаттарының қабаттарына датчиктер орнату арқылы қысқы температураны бақылау жүргізілді. Қыс мезгіліндегі қату тереңдігі анықталып, жабынның және негіздік топырақтардың тереңдігі бойынша температураның таралуына талдау жасалды. Төменгі қабаттардың жылуды субкомпенсациялау (жылу беру) есебінен қысқа мерзімді температура +6,6 °С дейін көтерілуімен жабын қабаттары тұрақты мұздатылған күйде қалатыны және жеткілікті қауіпсіздік шегі бар екені анықталды. Ал жол төсемінің бетінен 25 см тереңдіктегі қабаттар ең үлкен температуралық әсерге ұшырайды.

**Кілт сөздер:** автомобиль жолдары, жол төсемінің қатуы, температураны бақылау, жер асты қабаты.

**Sarsembayeva A.S.<sup>\*1</sup>, Mussakhanova S.T.<sup>1</sup>, Saginov Z.S.<sup>2</sup>, Zhussupbekov A.Zh.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>RSE on REM "National Center for the Quality of Road Assets", Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup>St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

### **Monitoring of highways structures of Nur-Sultan city in winter conditions**

**Abstract.** The article analyzes the physical and mechanical properties of foundation soils on a section of a highway in the geo-climatic conditions of the city of Nur-Sultan. Soil samples of the subgrade

were taken in winter to determine the density, moisture, and plastic characteristics of soils in laboratory conditions. Strength and deformation characteristics were determined by compression and shear tests. At the same time, temperature monitoring in winter was carried out by installing sensors in the layers of pavement and subgrade of the highway. The authors analyzed the depth of freezing in winter and the distribution of temperature in the depth of the pavement and base soils. It has been established that the pavement layers remain in a stably frozen state with short-term temperature rises to +6.6 °C due to heat subcompensation (heat transfer) of the underlying layers and have a sufficient margin of safety. And layers to a depth of 25 cm from the surface of the road surface are exposed to the greatest temperature effects.

**Keywords:** highways, road pavement freezing, temperature monitoring, subgrade.

## References

1. Bagdat Teltayev, Elena Suppes, Jiankun Liu. Impact of freezing of subgrade on pavement deformation. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul 2017, p. 1419-1422. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85045254642&partnerID=MN8TOARS>. (accessed: 18.05.2022).
2. Teltayev, B., Suppes, E. Freezing characteristics of a highway subgrade. Science in Cold and Arid Regions. 2017. No. 9(3). Pp. 325-330. doi: [10.3724/SP.J.1226.2017.00325](https://doi.org/10.3724/SP.J.1226.2017.00325). <http://www.scar.ac.cn/EN/10.3724/SP.J.1226.2017.00325>. (accessed: 18.05.2022).
3. Teltayev B.B., Liu J., Suppes E.A. Distribution of temperature, moisture, stress and strain in the highway. Magazine of Civil Engineering. 2018. 7 (83). Pp. 102–113. DOI: 10.18720/MCE.83.10. - <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85063795909&partnerID=MN8TOARS>. (accessed: 18.05.2022).
4. Assel Sarsembayeva, Askar Zhussupbekov, Philip E. F. Collins. Heat and Mass Transfer by Vapour in Freezing Soils. Energies 2022, 15, 1515. <https://doi.org/10.3390/en15041515>. - <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/4/1515>. (accessed: 18.05.2022).
5. Teltayev B.B., Zhussupbekov A., Shakhmov Z., Suppes E.A. Field Experimental Investigations of Freezing and Thawing of Highway Subgrade. In: Petriaev A., Konon A. (eds) Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 1. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 49. Springer, Singapore, pp 35-47| 03 January, 2020. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85046009145&partnerID=MN8TOARS>. (accessed: 18.05.2022).
6. Assel Sarsembayeva, Askar Zhussupbekov. Experimental study of deicing chemical redistribution and moisture mass transfer in highway subsoils during the unidirectional freezing. Transportation Geotechnics, 2021, 26, 100426. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100426>. - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214391220303147?via%3DIihub>. (accessed: 18.05.2022).
7. Teltayev, B.B., A.Zh. Zhussupbekov, A.Zh., Shakhmov, Zh., Suppes, E.A., Transoilcold 2019, 088, v3 (major): 'Field Experimental Investigations of Freezing and Thawing of Highway Subgrade', DOI:10.1007/978-981-15-0450-1\_5.
8. Teltayev, B.B., Suppes, E.A. Temperature and moisture in a highway in the south of Kazakhstan, Transportation Geotechnics. 2019. 21. Pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.trgeo.2019.100292.
9. Teltayev B.B., Loprencipe, G., Bonin, G., Suppes, E.A., Tileu, K. Temperature and moisture in highways in different climatic regions. Magazine of Civil Engineering. 2020. 8 (100). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000610836600010>.
10. Teltayev B.B., Suppes E.A. Temperature in pavement and subgrade and its effect on moisture. Case Studies in Thermal Engineering. Volume 13, March 2019, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.11.014>.
11. GOST 20522-2012 Grunty`. Metody` statisticheskoy obrabotki rezul'tatov ispy'tanij. M.:

Standartinform. s. 20, 2022. <https://docs.cntd.ru/document/1200096130> (accessed: 18.05.2022).

**Сведения об авторах:**

**Сарсембаева А.С.** – кандидат технических наук, PhD (Великобритания), и.о. доцента кафедры «Строительство», Евразийский государственный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

**Мусаханова С.Т.** – докторант кафедры «Строительство», Евразийский государственный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

**Сагинов З.С.** - генеральный директор РПП на пхв «Национальный центр качества дорожных активов» Министерства индустрии и инфраструктурного развития РК, Астана, Казахстан.

**Жусупбеков А.Ж.** – доктор технических наук, профессор кафедры «Геотехники», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия.

**Sarsembayeva A.S.** - Candidate of Technical Sciences, Ph.D., Associate Professor of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

**Mussakhanova S.T.** - Ph.D. student of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

**Saginov Z.S.** - General Director of National Center for the Quality of Road Assets of the Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan.

**Zhusupbekov A.Zh.** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the «Geotechnics» Department, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia.