

УДК 691.618.93

ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОПАЛОВОГО СЫРЬЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА МОРОЗОЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Е.А. Коротков¹, К.С. Иванов¹, И.А. Паткина²

¹Институт криосферы Земли СО РАН, Россия, г. Тюмень;

²ФАУ «РОСДОРНИИ», Россия, Москва.

Аннотация. Разработана и запатентована оригинальная технология производства гранулированных теплоизоляционных материалов на основе опалового сырья регионов Уральского федерального округа. Высокие теплоизоляционные характеристики новых материалов позволяют использовать их для устройства дополнительных морозозащитных и дренажных слоев дорожной одежды. В статье приведены результаты лабораторных испытаний нового материала, выполненные в сотрудничестве с лабораторией ФАУ «РОСДОРНИИ», доказывающие перспективность использования новых материалов в дорожном строительстве. Дополнительным аргументом в пользу внедрения новых материалов в дорожное строительство является возможность потенциального расширения сырьевой базы для их производства на юге Тюменской области.

Ключевые слова: морозозащитный слой дорожной одежды, гранулированный теплоизоляционный материал, диатомик, опаловое сырье.

Введение

Комплекс гидрологических, климатических и грунтовых условий территории Тюменской области, характерный для регионов юга Западной Сибири (низменный слаборасчлененный рельеф, интенсивное развитие процессов заболачивания, широкое распространение покровных лессовидных отложений, глубокое сезонное промерзание), предопределяет повышенную склонность местных грунтов к развиту процессов морозного пучения [1].

Деформация дорожного покрытия, обусловленная морозным пучением грунтов земляного полотна, является одной из причин снижения качества и долговечности автомобильных дорог юга Тюменской области.

Повреждения дорожных конструкций относятся к числу сложных и дорогостоящих для ремонта и существенно повышают затраты на содержание транспортной инфраструктуры региона.

Современные подходы к проектированию дополнительных морозозащитных слоев дорожных одежд в условиях региона далеко не всегда демонстрируют необходимую эффективность. Наиболее распространенным инженерным решением в дорожном строительстве региона является устройство морозозащитных слоев из крупнозернистого песка.

Ограниченность сырьевой базы качественных строительных песков юга Тюменской области предопределяет важность поиска альтернативных решений, позволяющих ис-

пользовать местные грунты для устройства земляного полотна автомобильных дорог, при сохранении высоких эксплуатационных характеристик дорожных конструкций. В качестве решения данной проблемы авторами предлагается использовать гранулированные теплоизоляционные материалы на основе местного кремниевого сырья для устройства дополнительных морозозащитных слоев дорожной одежды.

Гранулированные теплоизоляционные материалы на основе местного опалового сырья

Регионы УРФО обладают колоссальными запасами высококачественного кремниевого сырья. Кремниевые опал-кристаллитовые породы (диатомиты, опоки, кремнистые глины) широко представлены в мезозойско-кайнозойском осадочном чехле Западно-Сибирской геосинеклизы [2,3]. Породы относятся к числу полезных ископаемых, характеризующихся значительным набором полезных характеристик и разнообразными областями применения. На территории Зауралья (в границах Свердловской, Челябинской и Курганской областей) месторождения опал-кристаллитовых пород были обнаружены в 1930-50-х гг. прошлого века по результатам детального изучения верхнемеловых и эоценовых отложений. По состоянию на 2015 г, выявлено 107 месторождений кремниевых пород, 24 из которых детально разведаны и обладают запасами промышленных катего-

рий общим объемом в 174 млн. м³ диатомитов и 49 млн. м³ опок. Основные разведанные запасы сосредоточены в пределах трех месторождений: Потанинского (Челябинская область, 25 млн. м³), Камышловского и Ирбитского (Свердловская область, 15 и 7 млн. м³ соответственно). Общий ресурсный потен-

циал территории оценивается У.Г. Дистановым в 15-20 млрд. м³ [4].

На юге Тюменской области (рис.1) перспективы расширения минеральной базы кремнистого сырья связаны, прежде всего, с псаммито-диатомито-алевритовыми породами туртасской свиты верхнего олигоцена [5].

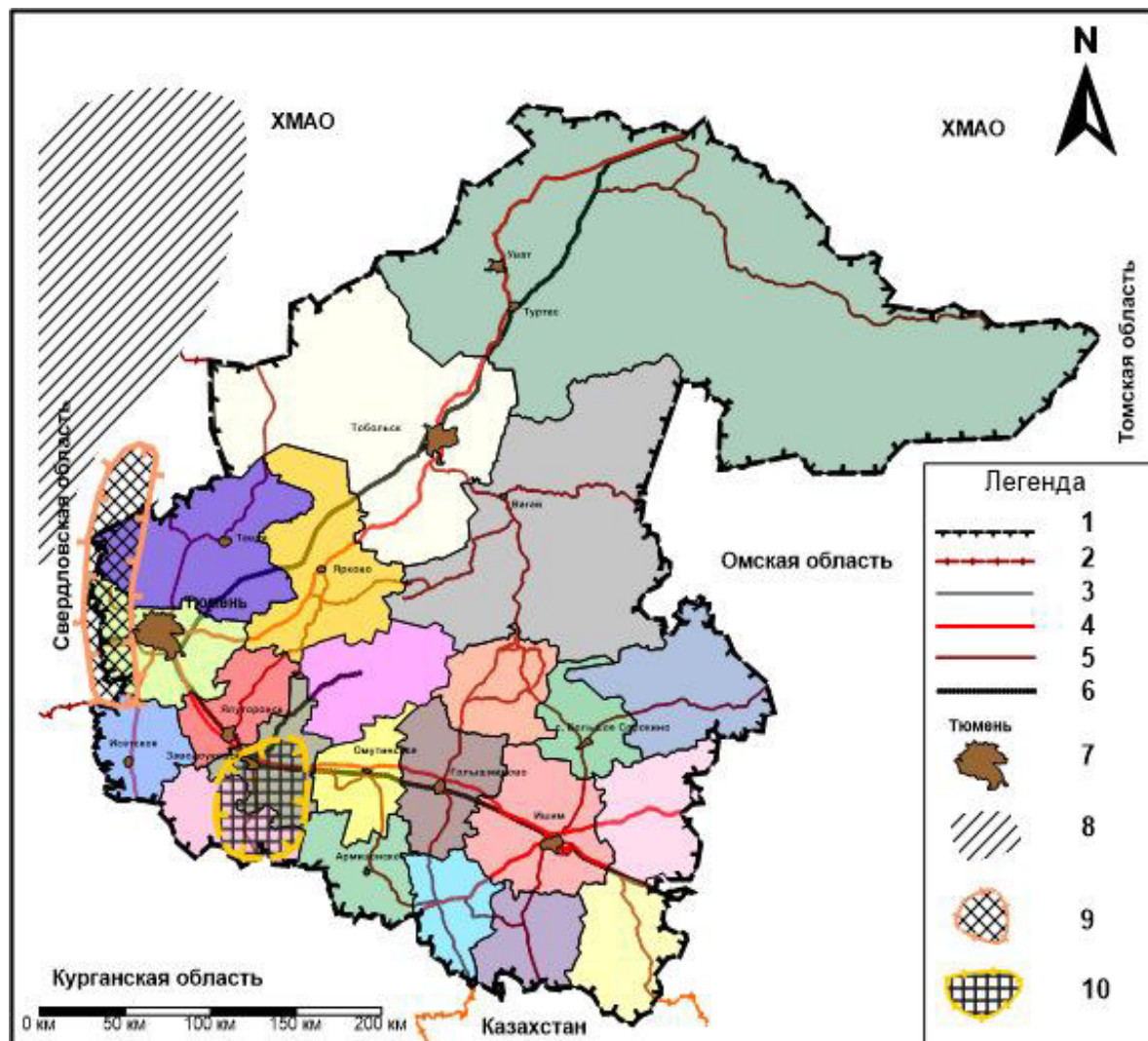


Рис. 1. Сырьевая база для производства ГТМ «ДиатомИК», 1 – административная граница Тюменской области; 2 – прочие административные границы; 3 - административные границы районов Тюменской области, 4 – важнейшие автомобильные дороги, 5- сеть автомобильных дорог регионального значения, 6 – железные дороги региона, 7- населенные пункты, 8 – Зауральская провинция опал-кристаллитовых пород, 9,10 – перспективные области на кремнистое сырье на юге Тюменской области

Использование гранулированных теплоизоляционных материалов, получаемых из местного опалового сырья, для устройства дополнительных морозозащитных и дренажных слоев дорожной одежды является новым перспективным направлением применения диатомитов в дорожном строительстве.

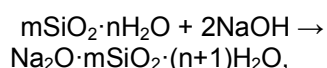
В рамках исследовательских проектов Института Криосферы Земли СО РАН разра-

ботана, запатентована и подготовлена для промышленного производства технология производства гранулированного теплоизоляционного материала (ГТМ) «ДиатомИК» из местного сырья Зауральской провинции опал-кристаллитовых пород [6].

В основе технологического процесса получения материала лежит процесс выщелачивания аморфного SiO₂ из диатомита рас-

твором щёлочи. Данный подход, используемый для получения жидкого стекла, не нашёл широкого применения в промышленном производстве из-за образования нерастворимого остатка и сложностей, связанных с его отделением. В то же время, при производстве пеностеклокерамических материалов, этот остаток может являться важным компонентом сырьевой смеси [7,8].

Процесс взаимодействия аморфного кремнезёма с гидроксидом натрия можно охарактеризовать следующей химической реакцией:



где m – силикатный модуль образующегося гидратированного силиката натрия. При дальнейшем нагревании происходит образование ячеистой структуры за счёт удаления молекулярной и силанольной воды с последующей поликонденсацией кремнекислородных анионов.

Новизна предложенной технологии заключается в проведении предварительной гидротермальной обработки опалового сырья при 90 °С, позволяющей ускорить процесс выщелачивания аморфного SiO₂ из диатомита, а образующиеся при этом растворимые щелочные силикаты способствуют её вспениванию при обжиге и снижают среднюю плотность образцов [7].

Гранулированный теплоизоляционный материал «ДиатомИК» представляет собой окатанный материал в виде гравия серо-зеленого цвета фракции 5-20 мм (рис.2). ГТМ «ДиатомИК» производится путем вспенивания заранее подготовленной породы во вращающейся печи при 800 °С. Полученный таким образом пеносиликатный материал имеет высокую пористость, за счет чего достигаются высокие теплоизоляционные характеристики материала (0,07-0,1 В/м*К). Поры материала являются закрытыми. За счет этого достигается низкое водопоглощение, повышенная химическая и физическая устойчивость ГТМ «ДиатомИК».



Рис. 2. ГТМ «ДиатомИК» различных фракций

Перспективы использования ГТМ «ДиатомИК» для устройства дополнительных морозозащитных слоев дорожной одежды

Возможность использования материала для устройства дополнительных морозозащитных слоев дорожной одежды

определяется, в первую очередь, набором физико-механических свойств. В таблице 1 представлены основные результаты последних исследований физико-механических свойств ГТМ «ДиатомИК», проведенных совместно с ФАУ «РОСДОРНИИ».

Таблица 1 – Результаты определения физико-механических свойств ГТМ «ДиатомИК» по ГОСТ 9758-2012, ГОСТ 32496-2013

Показатель	Значение
Насыпная плотность, кг/м ³ (средневзвешенное значение)	318
Средняя плотность зерен гравия, г/см ³ (средневзвешенное значение)	0,52
Пористость зерен гравия, % по объему (средневзвешенное значение)	81
Водопоглощение, % по массе (фракции 15-20 мм)	5,6
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа (средневзвешенное значение)	1,00
Морозостойкость гравия: потери массы, после 15-го цикла, %: (средневзвешенное значение)	3,50
Коэффициент фильтрации дробленого отсева, м/сут. (фракции 0-5 мм)	4,0

Набор физико-механических характеристик материала позволяет слою ГТМ «ДиатомИК» выполнять как морозозащитную, так и дренирующую функцию. ГТМ «ДиатомИК» является зернистым материалом с коэффициентом фильтрации не менее 1-2 м/сут, поэтому морозозащитный слой целесообразно

устанавливать на всю ширину земляного полотна с выходом на откосы насыпи или укладкой дополнительных водоотводящих устройств. На рисунке 3 представлен один из возможных вариантов типовой дорожной конструкции с дополнительным морозозащитным и дренирующим слоем ГТМ «ДиатомИК» для условий юга Тюменской области.

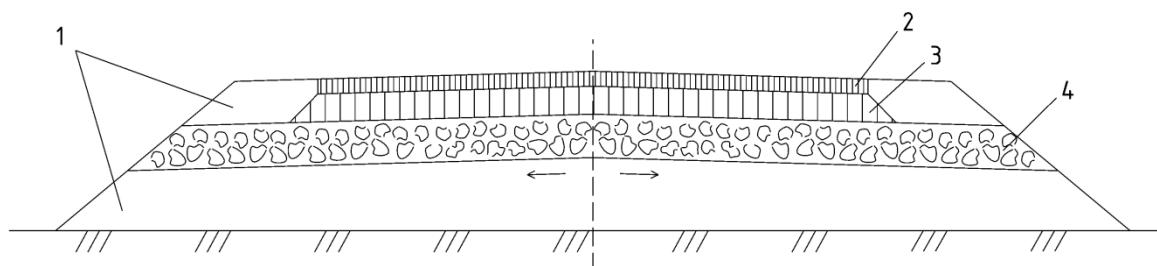


Рис. 3. Дорожная конструкция с дополнительным морозозащитным слоем ГТМ «ДиатомИК» дорожной одежды для условий юга Тюменской области. 1 – земляное полотно автомобильной дороги из местных грунтов, 2 – асфальтобетонное покрытие, 3 – щебень, 4 – ГТМ «ДиатомИК»

Дополнительным аргументом в пользу использования ГТМ «ДиатомИК» для устройства дополнительных морозозащитных слоев дорожной одежды является опыт применения гранулированных пеносиликатов в дорожном строительстве скандинавских стран.

В Норвегии, Швеции и Финляндии уже более 20 лет при устройстве дополнительных морозозащитных слоев дорожных одежд применяется гранулированное пеностекло [9].

По своим характеристикам пеностекло европейских производителей Nasorog и Foamit является близким аналогом предложенного ГТМ «ДиатомИК», хотя производится из промышленных и бытовых отходов стекла, а не из минерального кремнистого сырья [10].

Детальные полевые и лабораторные исследования эксплуатационных характеристик гранулированных пеносиликатов в дорожных конструкциях Норвегии свидетельствуют о высокой надежности и долговечности данного класса материалов [11,12].

В соответствии с требованиями ГОСТ 32496-2013 проведены исследования устойчивости структуры представленной пробы материала при кипячении, при выдерживании в воде и против силикатного распада. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что ГТМ «ДиатомИК» устойчив ко всем видам распадов. Так, для ГТМ «ДиатомИК» потери по массе при кипячении составляет 4,6% (фракция 15-20 мм), 1,15 % (фракция 10-15 мм), 3,7 (фракция 5-20

мм). Потери по массе при определении устойчивости структуры материала при железистом распаде (выдерживание в воде в течение 30 суток) составляют менее 1 % (допустимое значение – 7 % по ГОСТ 8267-93). Потери по массе при определении устойчивости структуры материала при силикатном распаде составляют менее 0,32 % (допустимое значение – 8 % по ГОСТ 8267-93).

Результаты радиационно-гигиенической оценки ГТМ «ДиатомИК» по ГОСТ 30108-94 позволяют отнести материал к 1-му классу строительных материалов с возможностью применения во всех видах строительства. Значения удельной эффективной активности составляют $61,92 \pm 47,24$ Бк/кг.

Заключение

ГТМ «ДиатомИК» удовлетворяет требованиям нормативных документов Российской Федерации по следующим показателям (ГОСТ 32496-2013): зерновому составу; насыпной плотности (марка М350); прочности при сдавливании в цилиндре (марка по прочности П50); показателям устойчивости структуры ко всем видам распадов; по морозостойкости (F25); по устойчивости к размягчению при увлажнении (Кразм = 0,9); по коэффициенту фильтрации отсева дробления (Кф=4 м/сут). Сочетание долговечности, прочности и высоких теплоизоляционных характеристик нового материала делают возможным его использования для устройства дополнительных морозозащитных и дренирующих слоев дорожной одежды. Материал устойчив к различным видам распада и агрессивным средам.

Производство материала ориентировано на сырьевую базу регионов УРФО, что повышает вероятность успешного внедрения ГТМ «ДиатомИК» в дорожное строительство юга Тюменской области и сопредельных регионов.

Библиографический список

1. Ефименко, В.Н. Пути обеспечения эксплуатационной надёжности автомобильных дорог в природных условиях Сибири / В.Н. Ефименко, С.В.Ефименко, М.В. Бадина // Транспортное строительство / Транспорт Российской Федерации. – 2007. – № 1. – С. 18–19.
2. Нестеров, И.И. Западно-Сибирская провинция кремнисто-опаловых пород / И.И. Нестеров, П.П. Генералов, Л.Л. Подсосова // Советская геология. – 1984. – № 3. – С. 35-40.
3. Генералов, П. П. Опалиты эоцена Западной Сибири [Текст] / П. П. Генералов, Н. Б. Дрожжащих // Опалиты Западной Сибири. – Тюмень: ЗапсибНИГНИ, 1987. – С. 3–10.
4. Кремнистые породы СССР / ред. У.Г. Дистанов. – Казань: Татарское книжное издательство, 1976. – 412 с.

5. Смирнов, П.В. Объекты поисковых работ на кремнистые породы на юге Тюменской области / П.В. Смирнов // Сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции «Современные исследования в геологии». – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2015. – С. 42-44

6. Пат. 2537304 Российская Федерация. МПК51 С03С 11/00. Способ получения пористых стекломатериалов / Мельников В.П., Шабанов В.Ф., Павлов В.Ф., Иванов К.С. Оpubл. 27.12.2014, Бюл. № 36 – 4 с.

7. Иванов, К.С. Новый изоляционный материал для термостабилизации грунтов / К.С. Иванов // Криосфера Земли. Том XV. – 2011. - № 4. – С. 120-122.

8. Иванов, К. С. Диатомиты в технологии гранулированного пеностекла / К. С. Иванов, С. С. Радаев, О. И. Селезнева // Стекло и керамика. – 2014. – № 5. – С. 15-19

9. Eriksson L., Häggglund J. Handbok: Skumglas i mark- och vägbyggnad. Linköping: Statens Geotekniska Institut. 2008. 39 p. (Norwegian).

10. Baklökk, L. Hasopor Cellular Glass for the use in building and road construction applications (In Norwegian). Report STF22 F01322. SINTEF Technology and Society, 2001.

11. R. Aabøe, G. Petkovic, S. Holdhus, E. Øiseth og T. E. Frydenlund, «Teknologirapport 2445: Gjenbruksprosjektet» Statens Vegvesen, Oslo, 2007.

12. Statens Vegvesen, «Håndbok 016: Geoteknikk i vegbygging» Oslo, 2010, pp. 15-2 - 15-4.

References

1. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V. *Puti obespechenija jekspluatacionnoj nadjozhnosti avtomobil'nyh dorog v prirodnyh uslovijah Sibiri* [Ways of ensuring operational safety of roads for the conditions of Siberia]. Transport Rossijskoj Federacii. 2007. No. 1 Pp. 18–19.
2. Nesterov I.I., Generalov P.P., Podsosova L.L. *Zapadno-Sibirskaya provintsija kremnisto-opalovykh porod* [West Siberian province of siliceous opal rocks]. Sovetskaya geologiya. 1984. No. 3. Pp. 35-40. (rus)
3. Generalov P.P., Drozhshchikh N.B. *Opalitty eotsena Zapadnoi Sibiri* [Eocene opal rocks of Western Siberia] Opalitty Zapadnoi Sibiri. Tyumen': ZapSibNIGNI, 1987. Pp. 3–10.
4. Distanov U.G. *Kremnistye porody SSSR* [Siliceous rocks of the USSR]. Kazan': Tatarskoe knizhnoe izdatel'stvo. 1976. 412 p.
5. Smirnov P.V. *Ob"ekty poiskovykh rabot na kremnistye porody na yuge Tyumenskoj oblasti* [Objects prospecting on siliceous rocks in the south of the Tyumen region] Proc. All-Rus. research-to-practice conf. 'Current research in geology'. SPb: Saint Petersburg State University Publishing House, 2015. Pp. 42-44.
6. Mel'nikov V.P., Shabanov V.F., Pavlov V.F., Ivanov K.S. *Sposob polucheniya poristykh steklomaterialov* [A technology for production of foam glass materials] Pat. Rus. Fed. N 2537304. IPC 51 S03S 11/00. Publ. 27.12.2014, Bul. No. 36. 4 p.

7. Ivanov K.S. *Novyi izolyatsionnyi material dlya termostabilizatsii gruntov* [The new insulation material for thermal stabilization of subsoils] *Kriosfera Zemli*. Vol. 15. 2011. No. 4. Pp. 120-122.

8. Ivanov K. S., Radaev S. S., Selezneva O. I. *Diatomity v tekhnologii granulirovannogo penostekla* [Diatomites in technology of granular foam glass production] *Steklo i keramika*. 2014. No. 5. Pp. 15-19.

9. Eriksson L., Hägglund J. *Handbok: Skumglas i mark- och- vägbyggnad*. Linköping: Statens Geotekniska Institut. 2008. 39 p. (Norwegian).

10. Bakløkk L. *Hasapor Cellular Glass for the use in building and road construction applications Report STF22 F01322*. SINTEF Technology and Society. 2001. (Norwegian)

11. Aabøe R., Petkovic G., Holdhus S., Øiseth E. og Frydenlund T. E. *Teknologirapport 2445: Gjenbruksprosjektet*. Statens Vegvesen, Oslo, 2007. (Norwegian)

12. *Håndbok 016: Geoteknikk i vegbygging*. Oslo: Statens Vegvesen,. 2010. Pp. 15-2 - 15-4. (Norwegian)

THE GRANULATED HEAT-INSULATING MATERIAL ON THE BASIS OF OPAL RAW MATERIALS FOR THE ANTIFREEZE DEVICE OF LAYERS ROAD CLOTHES

E.A. Korotkov, K.S. Ivanov, I.A. Patkina

Abstract. The original production technology of the granulated heat-insulating materials on the basis of opal raw materials of regions of Ural federal district is developed and patented. High heat-insulating characteristics of new materials allow to use them for the device additional the morozozashchitnykh and the draining layers of road clothes. The results of laboratory researches of new material executed in cooperation with laboratory FAU "ROSDORNII", proving prospects of use of new materials in road construction are given in article. Additional argument in favor of introduction of new materials in road construction is possibility of potential expansion of a source of raw materials for their production in the south of the Tyumen region.

Keywords: a morozozashchitny layer of road clothes, the granulated heat-insulating material, диатомик, opal raw materials.

Коротков Евгений Анатольевич (Россия, г. Тюмень) – аспирант; Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук (625000, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86, e-mail: the_djon@bk.ru).

Иванов Константин Сергеевич (Россия, г. Тюмень) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук; АНО «Губернская академия» (625000, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86, e-mail: e-mail: e-mail: 4terminator@mail.ru).

Паткина Инна Александровна (Россия, г. Москва) – кандидат технических наук, в.н с. Федеральное автономное учреждение «Российский дорожный научно-исследовательский институт» (ФАУ «РОСДОРНИИ») (125493, Россия, г. Москва, ул. Смольная, 2, e-mail: lbkm@rosdornii.ru).

Korotkov Evgeniy Anatolievich (Russian Federation, Tyumen) – graduate student, Institute of the Earth's cryosphere of the Russian Academy of Sciences' Siberian branch (625000, Tyumen, Malygina St., 86, e-mail: the_djon@bk.ru).

Ivanov Konstantin Sergeevich (Russian Federation, Tyumen) – candidate of technical sciences, senior researcher, Institute of the Earth's cryosphere of the Russian Academy of Sciences' Siberian branch; ANO "Provincial Academy" (625000, Tyumen, Malygina St., 86, e-mail: e-mail: e-mail: 4terminator@mail.ru)

Patkina Inna Aleksandrovna (Russian Federation, Moscow) – candidate of technical sciences, Federal Autonomous Institution "Russian Road Research Institute" (FAI "ROSDORNII") (125493, Russia, Moscow, Smolnaya St., 2, e-mail: lbkm@rosdornii.ru).