

УДК 666.1

**ПРИМЕНЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО  
МАТЕРИАЛА «ДИАТОМИК» В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ЕГО УКЛАДКИ В ДОРОЖНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

*Мельников В.П.<sup>1,2,3</sup>, Галлямов Д.Р.<sup>1,2,3</sup>, Иванов К.С.<sup>1,2,3</sup>*

*<sup>1</sup>Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, Российская Федерация*

*<sup>2</sup>Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН, г. Тюмень,  
Российская Федерация*

*<sup>3</sup>АНО «Губернская академия», г. Тюмень, Российская Федерация*

*E-mail: melnikov@ikz.ru, sillicium@bk.ru, denis.galliamov1@yandex.ru*

В регионах Российской Федерации со сложными природно-климатическими и грунтово-геологическими условиями существует проблема пучения грунтов земляного полотна автомобильных и железных дорог при глубоком промерзании. Строительство инженерных сооружений в районах с сезонным промерзанием требует специальных мероприятий по снижению глубины промерзания грунтов в основаниях. Морозное пучение грунтов вызывает серьезные деформации и разрушения дорожных конструкций. Исходя из этого, изучение процессов промерзания грунтов и поиск методов борьбы с морозным пучением весьма актуален. В работе освещаются меры снижения сезонного промерзания и морозного пучения грунтов. Одной из мер по снижению морозного пучения является теплозащита грунтов, т.е. устройство теплоизоляционных (морозозащитных) слоёв в конструкциях оснований инженерных сооружений [1]. Произведена промышленная апробация исследуемой модели с применением гранулированного теплоизоляционного материала «ДиатомИК» (далее - ГТМ «ДиатомИК») при строительстве опытно-экспериментального участка автомобильной дороги.

**Ключевые слова:** гранулированный строительный материал, морозное пучение, дорожные конструкции.

**ВВЕДЕНИЕ**

Строительство инженерных сооружений в районах с сезонным промерзанием требует специальных мероприятий по снижению глубины промерзания грунтов в основаниях [2]. В Швеции, затраты, связанные с ежегодной ликвидацией последствий морозного пучения земляного полотна автодорог, достигают 25 % от общего бюджета национального Управления автомобильных дорог (Swedish Road Administration).

Одной из мер по снижению морозного пучения является теплозащита грунтов, т.е. устройство теплоизоляционных (морозозащитных) слоёв в конструкциях оснований инженерных сооружений. На практике с этой целью в основном применяются плиты из экструзионного пенополистирола (ЭППС) [3] и пеностекло в виде щебня (в основном за рубежом) (Yan HY, 2015), (Auvinen T, 2013) и (M-Lapage, 2013). Данные слои снижают глубину промерзания, что особенно важно при строительстве на пучинистых и обводнённых грунтах (Минько Н.И., 2013). В последнем случае подток воды к фронту промерзания может существенно увеличить деформации пучения за счёт образования линз льда.

## 1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является инновационный гранулированный теплоизоляционный строительный материал на основе диатомита «ДиатомИК».

Методология предполагаемых исследований применения ГТМ «ДиатомИК» в дорожных конструкциях базируется на современных подходах к мониторингу опытно-экспериментальных дорожных конструкций: метаматематическое моделирование, лабораторные и полевые исследования, визуальный мониторинг (Невзоров А.Л., 2013). Методика проведения исследований базируется на современных методах изучения структуры и свойств материалов, а также классических методах инженерных расчётов при проектировании производств (теория подобия, общая химическая технология, расчёты процессов) (Коротков Е.А., 2015).

Разработка нового гранулированного строительного материала, позволит строить прочные и долговечные автомобильные и железные дороги в регионах со сложными климатическими условиями (Мельникова А.А., 2015).

Мониторинг дорожной конструкции позволяет проводить следующее:

1. Исследование возможности регулирования водно-теплового режима дорожных конструкций с помощью устройства теплоизоляционно-дренирующих слоев из ГТМ «ДиатомИК».

2. Апробация разработанных технологий и методик в полевых условиях.

3. Разработка рекомендаций для последующего коммерческого использования материала в дорожном строительстве.

Новизна ГТМ «ДиатомИК» состоит в следующем.

Предлагаемый материал не имеет аналогов в России. Есть материал на основе боя стекла, но он требует больших объемов сырья. Использование легких материалов в дорожном строительстве является сравнительно молодым направлением во всем мире. В сравнении с производимым в России пеностеклом, ГТМ «ДиатомИК» имеет более высокие прочностные характеристики и неограниченную сырьевую базу, как в Западной Сибири, так и на территории РФ (Смирнов П.В., 2013), (Смирнов П.В., 2015) и (Смирнов П.В., 2015). Применение ГТМ «ДиатомИК» при строительстве автомобильных и железных дорог позволяет:

1. повысить прочность и устойчивость земляного полотна;

2. обеспечить надежность и ровность дорожного покрытия;

3. получить значительный экономический эффект за счет резкого уменьшения объема привозных строительных материалов;

4. сократить сроки строительства за счет простой технологии устройства слоя, в сравнении с конкурентными плиточными теплоизоляционными материалами;

5. снизить стоимость дорожных объектов; повысить долговечность конструкции и сократить межремонтные сроки;

6. снизить эксплуатационные затраты на ремонт и содержание и т.д.

Ни одна из современных используемых дорожных конструкций не обеспечивает одновременную реализацию всех вышеперечисленных пунктов (Иванов К.С., 2011).

## 2. ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГТМ «ДИАТОМИК»

По результатам проведенных исследований для промышленной апробации конструкций грунтового основания с применением ГТМ «ДиатомИК» было определено два опытно-экспериментальных участка автомобильных дорог:

- на юге Тюменской области, Голышмановский район (дорожно-климатическая зона – III, дорожно-климатическая зона – III<sub>1</sub>, тип местности по рельефу – равнинные районы;

- на севере – Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Новый Уренгой (дорожно-климатическая зона – I, дорожно-климатическая зона – I<sub>1</sub>, тип местности по рельефу – равнинные районы (ОДН 218.046-01, 2001). Опытно-экспериментальные участки были разделены на 2 секции: традиционная конструкция, применяемая в данном регионе, без теплоизоляционного слоя и конструкция с теплоизоляционным слоем из ГТМ «ДиатомИК».

По проекту дорожная одежда опытно-экспериментальных участков имеет следующее строение (рис. 1):

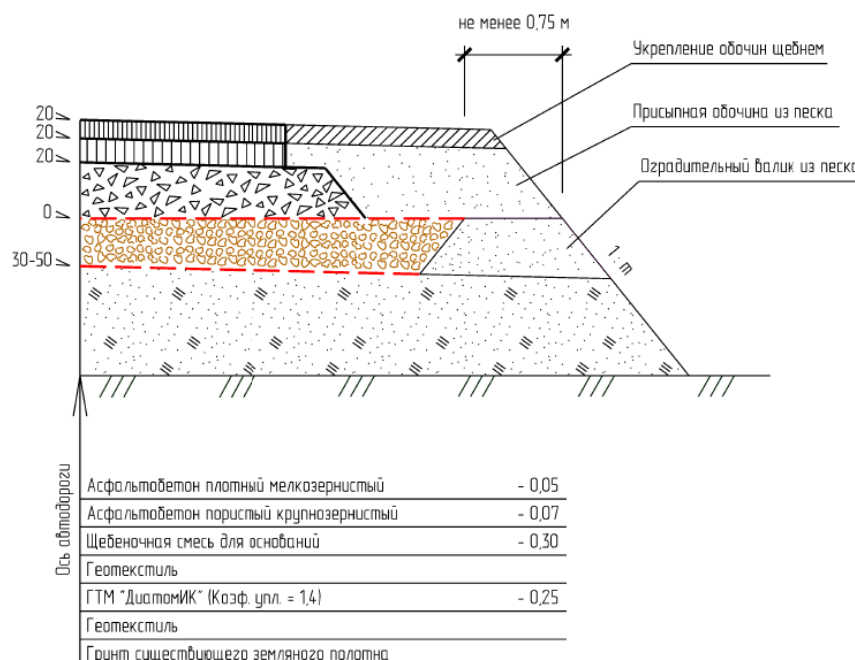


Рис. 1. Конструкция дорожной одежды, принятая для опытно-экспериментальных участков

1. Верхний слой покрытия из асфальтобетонной смеси марки II, тип Б, толщина 5 см.

2. Нижний слой покрытия из крупнозернистой асфальтобетонной смеси марки II, толщина 7 см.

3. Верхний слой основания из щебня, толщина 15 см.
4. Нижний слой основания из щебня, толщина 15 см.
5. Дополнительный слой основания дорожной одежды из строительного песка природного для первой секции толщиной 30 см. Для второй секции теплоизоляционный слой из ГТМ «ДиатомИК» толщиной 25 см, прикрытый сверху и снизу прослойкой из НСМ «Дорнит-2» (геотекстиль).

### 3. ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Анализ проведенных исследований на опытно-экспериментальном участке автомобильной дороги в Голышмановском районе показал, что основной причиной появления деформаций на дорожном покрытии является пучение сезонно промерзающих пылеватых грунтов земляного полотна. Для обеспечения стабильной работы земляного полотна в рассматриваемых условиях необходимы мероприятия по снижению или полному исключению промерзания дорожной конструкции.

Сбор показаний на опытно-экспериментальных площадках проводится с помощью автономной многоканальной измерительной системы. Измерительная мониторинговая система, выполняемая с использованием комплекта оборудования (датчиков, регистраторов, установочных шкафов), является частью системы мониторинга дорожной конструкции. Схема установки устройства измерительной мониторинговой системы приведена на рисунке 2.

#### Общая схема мониторинговой системы

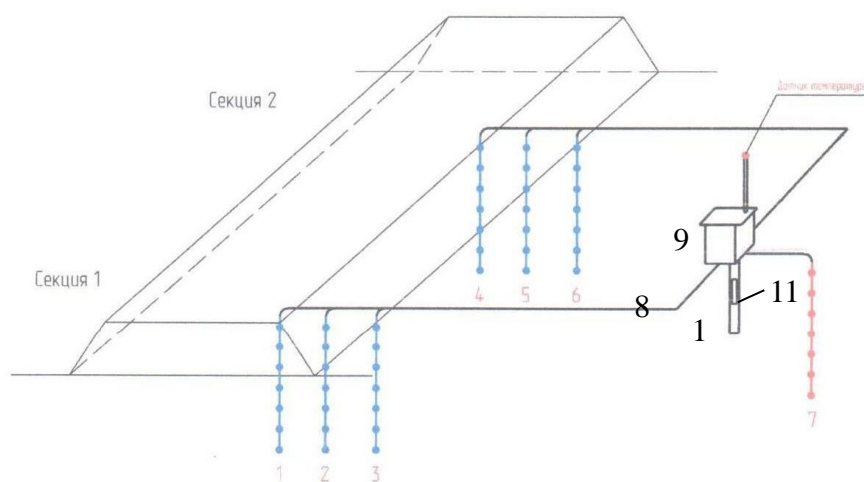


Рис. 2. Схема установки устройства измерительной мониторинговой системы на опытно-экспериментальных участках автомобильных дорог: 1,2,3,4,5,6,7 – термокосы; 8 – сигнальный кабель; 9 – шкаф коммутации; 10 – скважина; 11 – регистратор.

В результате снятия показаний с датчиков термокос с помощью мониторинговой системы, были построены кривые распределения температуры по глубине в двух разных секциях – без теплоизоляционного слоя и с теплоизоляционным слоем из ГТМ «ДиатомИК». Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Глубина промерзания дорожной конструкции на опытно-экспериментальном участке автомобильной дороги (Тюменская область, Голышмановский район)

Период времени	Секции дорожной конструкции	
	Без теплоизоляционного слоя, см	с ГТМ «ДиатомИК», см
19.10.2016г.	0	0
24.12.2016г.	76	24
21.02.2017г.	137,3	74
09.03. 2017г.	162,1	87,2
24.03. 2017г.	162,8	87,2
05.04. 2017г.	175,1	87,4
19.04. 2017г.	175,1	87,5
05.05. 2017г.	175,4	87,5
18.05. 2017г.	175,5	87,5
23.07.2017г.	0	0
03.08.2017г.	0	0

Как видно из данных таблицы 1, что при одинаковых условиях за период 7-8 месяцев глубина промерзания дорожной конструкции в секции без теплоизолятора значительно отличается от глубины промерзания в секции с ГТМ «ДиатомИК». Максимальная глубина промерзания наблюдается в секции без теплоизолятора – 175,5 см, когда в секции с ГТМ «ДиатомИК» в 2 раза меньше – 87,5 см. Глубина промерзания на участке с теплоизоляционным слоем составила - 87,5 см, толщина слоя промерзшего грунта под ГТМ «ДиатомИК» – 20 см. В случае в секции с традиционной конструкцией глубина промерзания на участке без теплоизолятора составила – 175,5 см, толщина слоя промерзшего грунта под щебнем – 130,5 см. При этом видно, что в секции с песком мелким промерзание происходит резкое – примерно за 3 месяца, когда в секции с ГТМ «ДиатомИК» – плавное на протяжении всего холодного периода года.

## ВЫВОДЫ

По проведенным экспериментальным исследованиям для практической реализации предложена оптимальная модель дорожной конструкции с применением ГТМ «ДиатомИК» в основании дорожной одежды для предотвращения процессов морозного пучения в грунтах земляного полотна на пучинистых участках.

## ПРИМЕНЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «ДИАТОМИК» В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ...

---

Предложенная конструкция применима для ремонта, реконструкции, а также нового строительства автомобильных дорог и земляного полотна железных дорог. Всё вышеуказанное, свидетельствует о теплоизоляционных свойствах слоя из ГТМ «ДиатомИК» и эффективности применения материала для предотвращения промерзания грунтов в основаниях инженерных сооружений.

### Список литературы

1. Мельников В.П., Мельникова А.А., Аникин Г.В., Спасенникова К.А. Инженерные решения в строительстве на вечной мерзлоте в плане повышения энергоэффективности сооружений // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII. №3. С.82-90
2. Чеврев В.Г., Бурнаев Р.С., Гагарин В.Е., Сафронов Е.В. Влияние внешней нагрузки на степень морозной пучинистости глинистых грунтов // Криосфера Земли. 2013. № 4. С. 45–51.
3. Российский рынок полистирольной теплоизоляции. Обзор агентства ABARUS Market Research [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stroyka.ru> (12.03.2016).
4. Yan HY, Zhao GT, Cai DG, et al., 2015. Investigation of insulation layer dynamic characteristics for high-speed railway. Sciences in Cold and Arid Regions, 7(4): 0430–0437.
5. Auvinen T., Pekkala J., Forsman J. Covering the highway e12 in the centre of Hämeenlinna – innovative use of foamed glass as light weight material of approach embankment // The XXVIII International Baltic Road Conference, 2013. Vilnius, Lithuania. 26-28 August 2013.10 p.
6. M-Lapage, J, Thermal Performance of the Permafrost Protection Techniques at Beaver Creek Experimental Road Site, Yukon, Canada. Personal correspondence with author, 2013.
7. Минько Н.И., Пучка О.В., Евтушенко Е.И., Нарцев В.М. Сергеев С.В. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-4. С. 849-854.
8. Невзоров А.Л., Коршунов А.А., Чуркин С.В. Методы оценки пучинистости грунтов с использованием современных приборов // Инженерные изыскания. 2013. № 5. С. 52 - 56.
9. Коротков Е.А., Константинов А.О., Смирнов П.В. Европейский опыт использования пеностекла в дорожном строительстве. Перспективы использования аналогичных материалов в РФ // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. №1. С. 58-61.
10. Мельникова А.А., Коротков Е.А. Новые материалы для строительства инженерных объектов..., ТюмГАСУ. 2015. С. 249-253.
11. Смирнов П.В. Западно-Сибирская провинция опал-кристобалитовых пород - минерально-сырьевая база многоцелевого назначения // Новые технологии - нефтегазовому региону: Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию ТИИ-ТюмГНГУ. Тюмень, 2013. С. 80-82.
12. Смирнов П.В. Литология пород туртасской свиты и возможности их использования в качестве сырья для производства пеностеклокерамики на примере Успенской площади (Тюменская область) // Известия Томского политехнического университета. 2015. № 7. С. 112-120.
13. Смирнов П.В. Объекты поисковых работ на кремнистые породы на юге Тюменской области / Изд-во СПбГУ, 2015. С. 42-44.
14. Иванов К.С. Новый изоляционный материал для термостабилизации грунтов // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. №4. С. 120-122.
15. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. М.: Информавтор, 2001. 145 с.

## THE USE OF GRANULAR HEAT-INSULATING MATERIAL «DIATOMIK» IN THE EXPERIMENTAL TECHNOLOGY OF ITS LAYING IN ROAD CONSTRUCTIONS

**Melnikov V.P.<sup>1,2,3</sup>, Gallyamov D.R.<sup>1,2,3</sup>, Ivanov K.S.<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Institute of Earth cryosphere Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russian Federation*

<sup>3</sup>*ANO "Provincial Academy", Tyumen, Russian Federation*

*E-mail: melnikov@ikz.ru, sillicium@bk.ru, denis.gallyamov1@yandex.ru*

In the regions of the Russian Federation with difficult climatic and soil and geological conditions there is a problem of swelling soil subgrade of roads and railways at deep freezing. Construction of engineering structures in areas of seasonal freezing requires special measures to reduce the depth of soil freezing at the bases. In Sweden, the costs associated with the annual liquidation of the consequences of frost heaving of subgrade of roads, reach 25% of the total budget of the National Roads Authority (Swedish Road Administration). Frost heave soil causes serious deformation and destruction of road constructions. Accordingly, the study of the processes of soil freezing and the search for ways to combat frost heave is highly relevant.

The paper highlights the measures to reduce the seasonal freezing and frost heaving soils. The object of the research is an innovative granular thermal insulating building material based on diatomaceous earth "DiatomIK". Methodology prospective trials of granular insulation material "DiatomIK" in road constructions based on the current approaches to monitoring of pilot road constructions: metamathematical modeling, laboratory and field studies, visual monitoring. Method research based on modern methods of studying the structure and properties of materials as well as classical methods engineering calculations at the design of production (similarity theory, general chemical technology processes calculations). Development of a new granular building material, allows to build a strong and durable roads and railways in regions with difficult climatic conditions. Monitoring road structure allows for the following:

- study possibility of regulating the water-heat mode of road constructions using the device the heat insulating-draining layers of GTM "DiatomIK".
- testing of the developed technologies and techniques in the field.
- develop recommendations for future commercial use of the material in road construction.

The proposed material has no analogues in Russia. There is a material based on glass breakage, but it requires large volumes of feedstock. The use of lightweight materials in road construction is a relatively new trend in the world. Compared with the cellular glass produced in Russia, GTM "DiatomIK" has higher strength characteristics and an unlimited source of raw materials, both in Western Siberia and the Russian Federation. Application GTM "DiatomIK" in the construction of roads and railways allows to:

- improve the strength and stability of the roadbed;
- to ensure the reliability and smoothness of the road surface;
- a significant economic effect due to a sharp decrease in the volume of imported building materials;
- shorten the construction time due to simple device layer technology, in comparison with competitive tiled insulating materials;
- reduce the cost of road facilities; improve durability and reduce turnaround time;
- lower operating costs for repairs and maintenance, etc. None of the modern use of road construction does not provide for simultaneous implementation of all the above items.

One of the measures for reducing the frost heaving soils is thermal protection, i.e. thermal insulation device (antifreeze) layers in constructions engineering structures bases. In practice for this purpose are mainly used slabs of extruded polystyrene (Epps), and foamed glass in the form of crushed stone (mainly abroad). These layers reduce frost penetration depth, which is particularly important in the construction and watered for heaving soils. In the latter case the inflow of water to the freezing front can substantially increase the swelling deformation due to the formation of ice lenses.

Produced industrial testing investigated model with granular insulation material "DiatomIK" (hereinafter - the GTM "DiatomIK").

**Keywords:** granular building material, frost heave, road construction.

### References

1. Melnikov V.P., Melnikov A.A., G.V. Anikin, Spasennikova K.A. Engineering solutions in building on permafrost in terms of energy efficiency buildings. *Earth's Cryosphere*, 2014, Vol.VIII, no 3, pp.82-90.
2. Cheverev V.G. Influence of an external load on the degree of clay soil frost heaving / V.G. Cheverev, R. S. Burnaev, V.E. Gagarin E.V. Safronov. *Cryosphere Earth*, 2013, no 4, pp 45-51.
3. The Russian market of polystyrene insulation. Overview ABARUS Market Research Agency [electronic resource]. URL: <http://www.stroyka.ru> (accessed 12.03.2016).
4. Yan HY, Zhao GT, Cai DG, et al., 2015. Investigation of insulation layer dynamic characteristics for high-speed railway. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 7(4): 0430–0437.
5. Auvinen T. Covering the highway e12 in the centre of Hämeenlinna – innovative use of foamed glass as light weight material of approach embankment / T. Auvinen, J. Pekkala, J. Forsman. The XXVIII International Baltic Road Conference, 2013, Vilnius, Lithuania, 26-28 August 2013. 10 p.
6. M-Lapage, J, Thermal Performance of the Permafrost Protection Techniques at Beaver Creek Experimental Road Site, Yukon, Canada. Personal correspondence with author, 2013.
7. Minko N.I. Foam glass - a modern efficient inorganic insulation material / N.I. Minko, OV Beam, EI Yevtushenko, VM Nartsev, SV Sergeev. *Basic Research*, 2013, no 6-4, pp. 849-854.
8. Nevzorov A.L., Korshunov A.A. Churkin S.V. Methods for assessing the heaving soils using modern instruments. *Engineering Survey*, 2013, no 5, p.52 - 56.
9. Korotkov E.A. The European experience of using foam glass in road construction. Prospects for the use of similar materials in RF / E.A. Korotkov, S.A. Konstantinov, P.V. Smirnov. *Scientific transport problems of Siberia and the Far East*, 2015, no 1, pp. 58-61.
10. Melnikova A.A. Korotkov E.A. New materials for civil engineering objects ... *State Architectonic Building University* 2015, p. 249-253.
11. Smirnov P.V. West Siberian province opal-cristobalite rocks - mineral resources, multi-purpose / P.V. Smirnov. *New technologies - oil and gas regions: Materials of All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists, devoted to the 50th anniversary of the TII-TSOGU. Tyumen*, 2013, pp. 80-82.
12. Smirnov P.V. Formation Lithology turtasskoy rocks and their possible use as a raw material for the production of the example penosteklokeramiki Assumption area (Tyumen region), *Tomsk Polytechnic University*, 2015, no 7, pp 112-120.
13. Smirnov P.V. Objects exploration in siliceous rocks in the south of the Tyumen Region. *St. Petersburg State University Publishing House*, 2015, pp. 42-44.
14. Ivanov K.S. The new insulation material for thermal stabilization of soils / K.S. Ivanov. *Cryosphere Earth*, 2011, Vol.XV, no 4, pp. 120-122.
15. ODN 218.046-01. Designing of nonrigid road clothes. Public service road of the Ministry of Transport. M.: Informavtodor, 2001, 145 p.

*Поступила в редакцию 09.10.2019*