



КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Комплексная модификация в технологии укрепления грунтов для дорожных одежд

Проректор по научно-исследовательской деятельности
Заведующий кафедрой автомобильных дорог, мостов и тоннелей
Вдовин Евгений Анатольевич

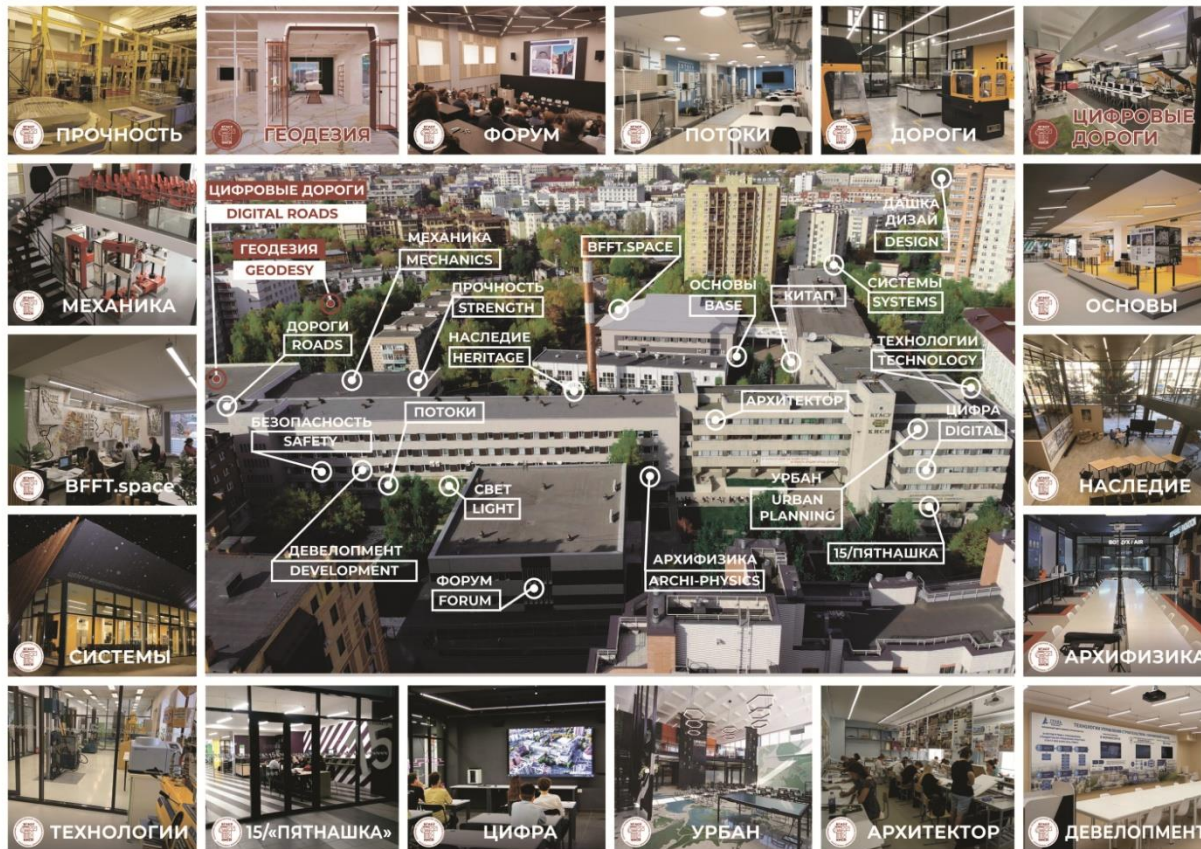


Министерство транспорта
и дорожного хозяйства
Республики Татарстан



VI-ая Научно-практическая конференция «Дороги Евразии»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ КГАСУ



НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ИНСТИТУТА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КГАСУ

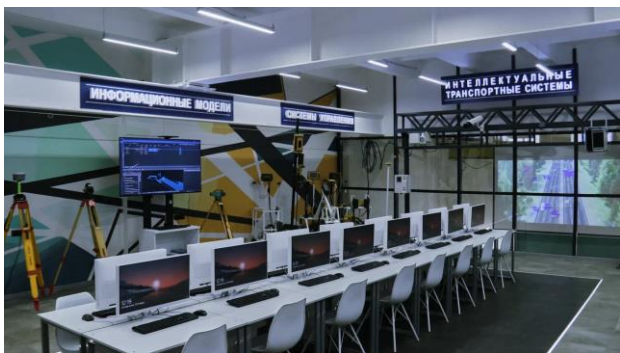
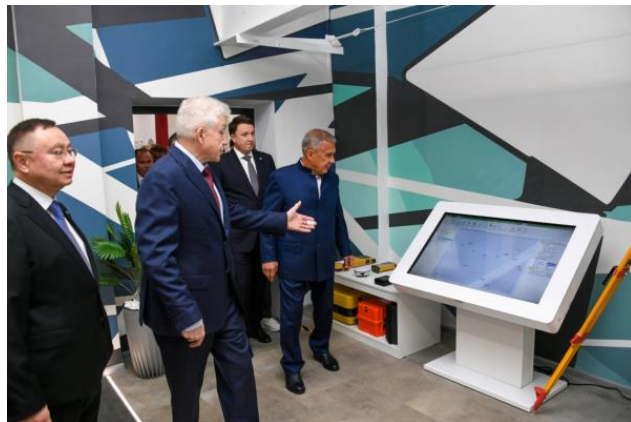
НОЦ «ДОРОГИ»



НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «ГЕОДЕЗИЯ»



НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «ЦИФРОВЫЕ ДОРОГИ»



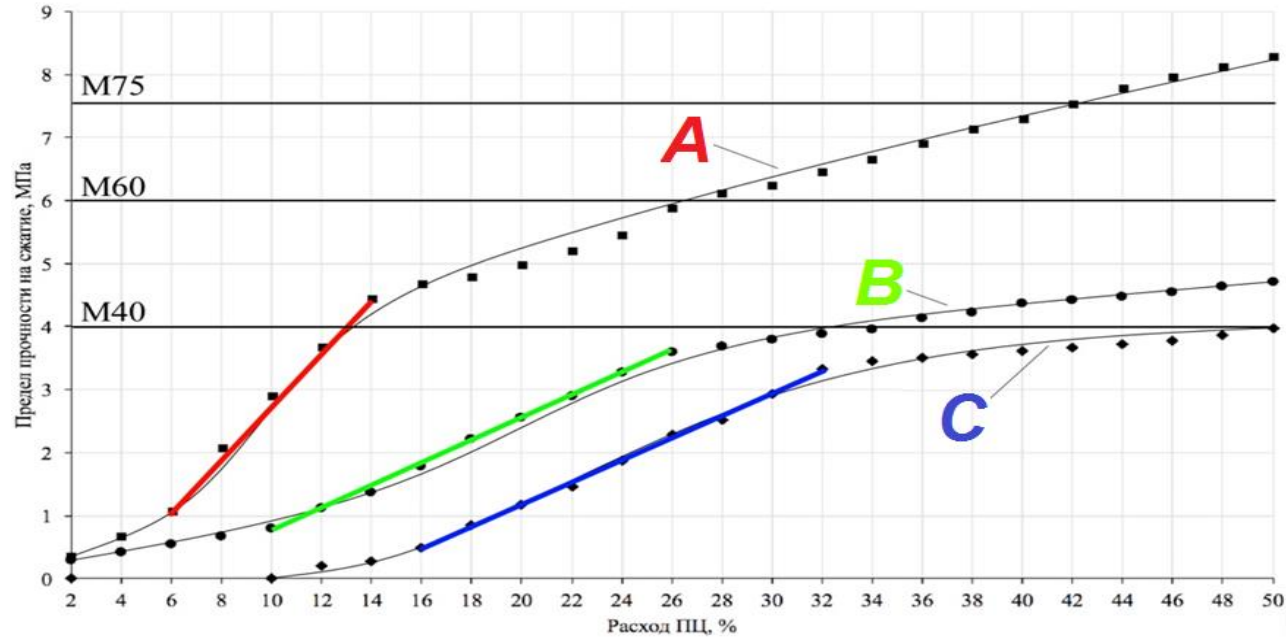
НАПРАВЛЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

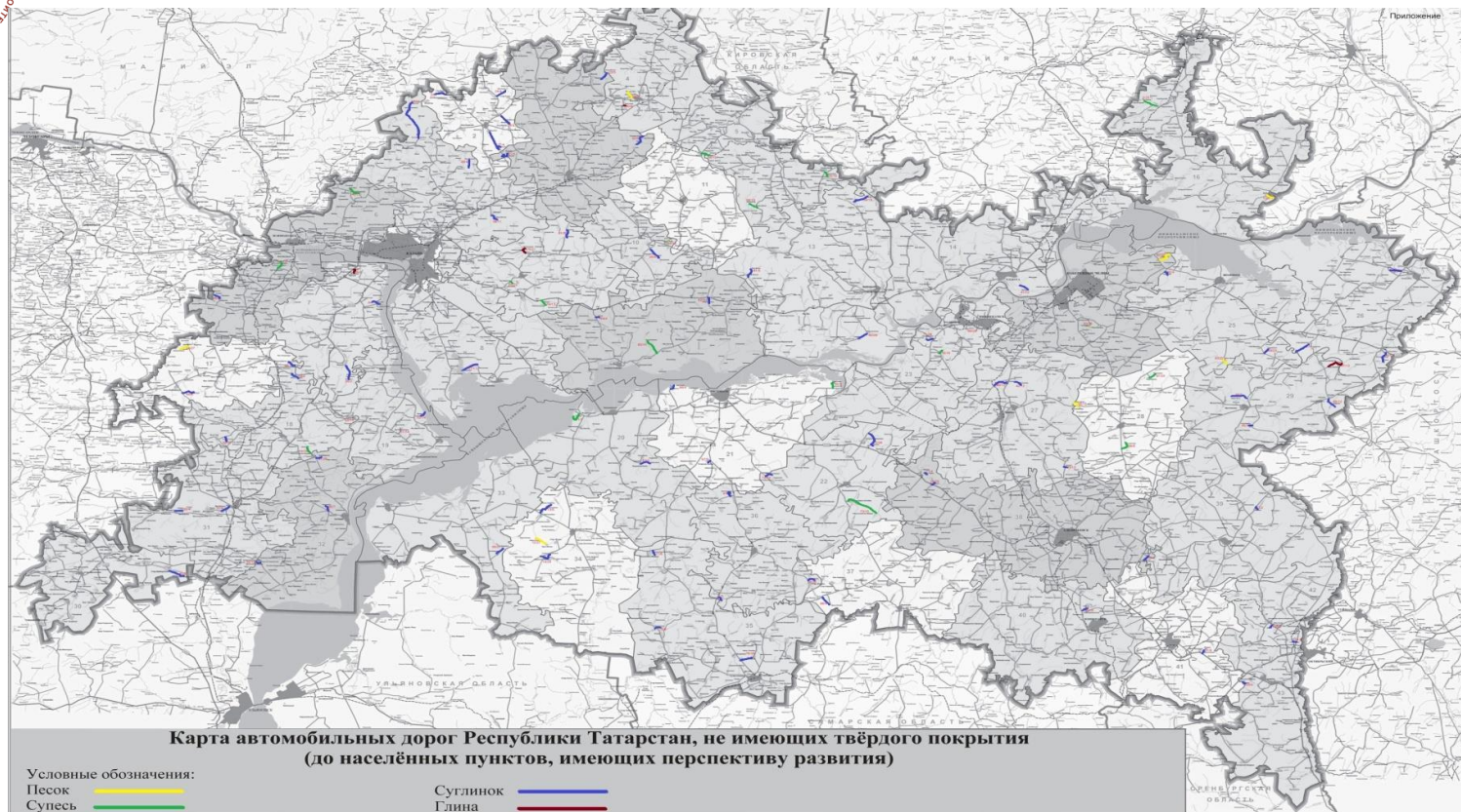
Исследования направлены на увеличение объемов строительства автомобильных дорог с применением местной минерально-сырьевой базы, вторичных продуктов производств и повышение сроков службы дорожных конструкций.

УКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ



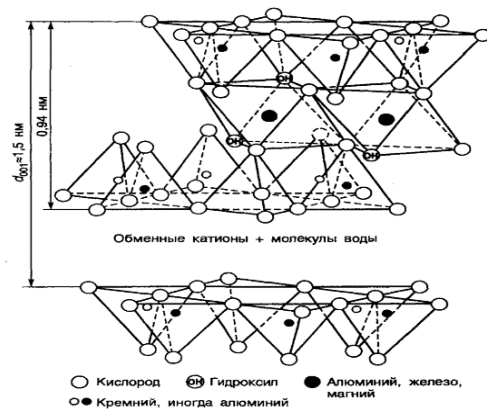
Зависимость предела прочности на сжатие глинистых грунтов от содержания вяжущего:
А-полиминеральная глина, В-каолинитовая глина, С- монтмориллонитовая глина

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ГРУНТОВ В МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

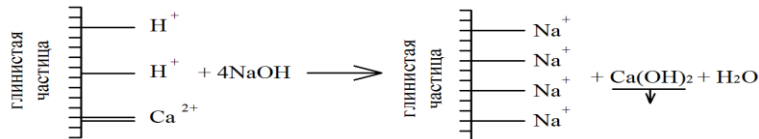




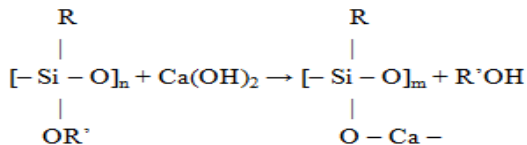
Структура грунтового агрегата



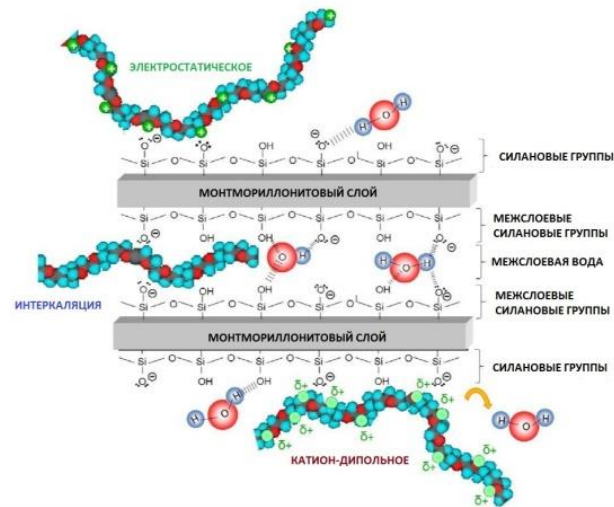
Структура монтмориллонита



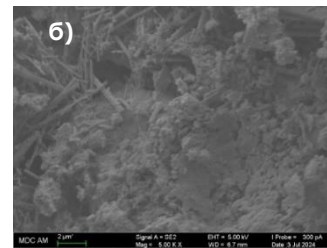
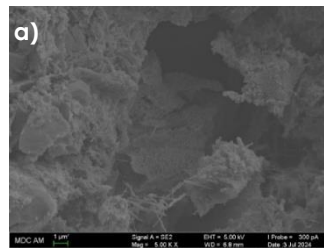
Реакции взаимодействия глинистых частиц с электролитами



Химические реакции в цементогрунте, модифицированном КОС полиорганосилоксан

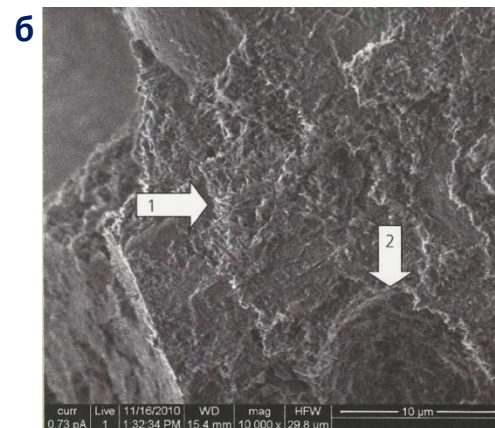
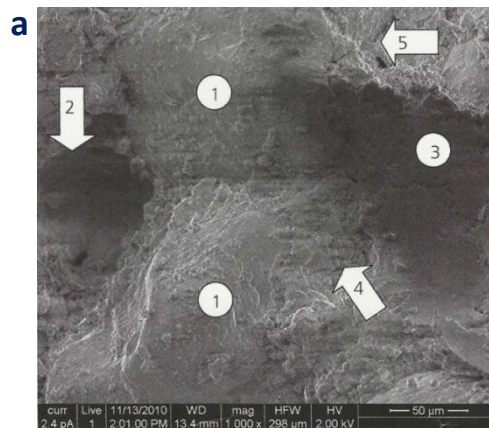


Взаимодействие полиэтиленгликоля с алюмосиликатными слоями монтмориллонита



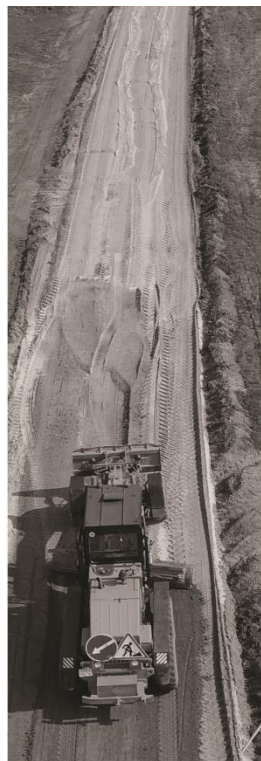
Микроструктура сколов образцов
а) цементогрунта без модификаторов,
б) цементогрунта с комплексным модификатором

МОДИФИКАЦИЯ ГИДРОФОБИЗАЦИЕЙ И ПЛАСТИФИКАЦИЕЙ

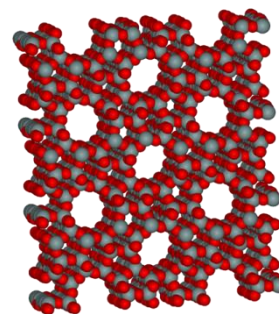


Микроструктура цементогрунта:
а – обработанного гидрофобизатором,
б – без модификации;
1 – поверхность мелкого заполнителя,
2 – воздушная пора, **3** – заполнитель,
4 – частицы цемента, **5** – капилляры.

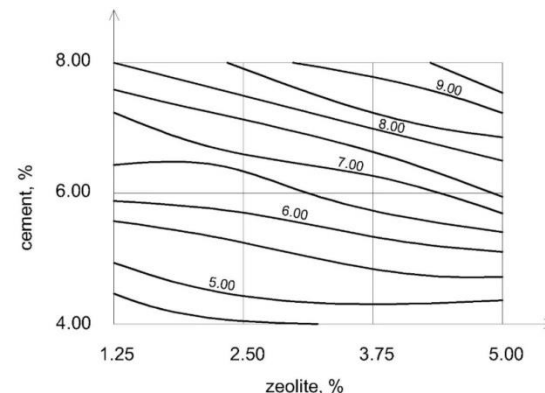
МОДИФИКАЦИЯ НАПОЛНЕНИЕМ АКТИВИРОВАННЫМИ НОСИТЕЛЯМИ И ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ



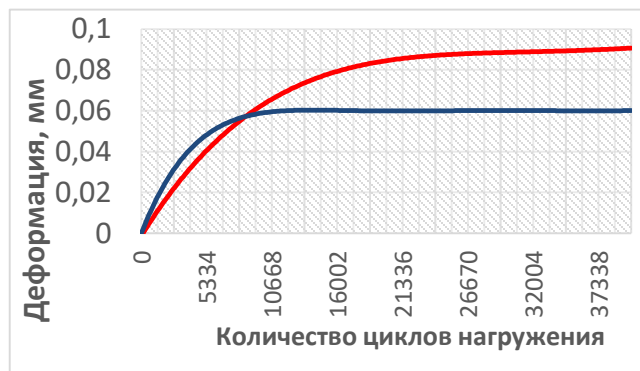
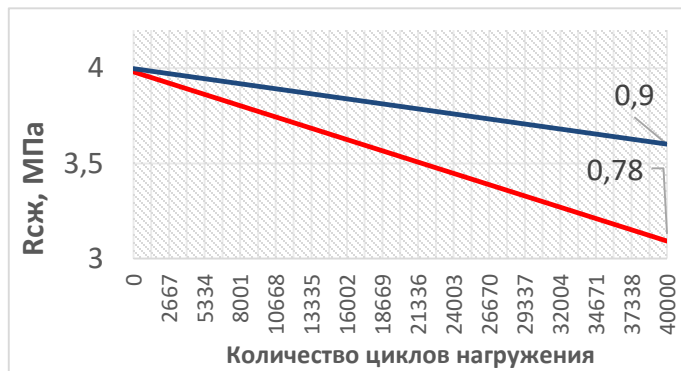
Цеолитсодержащая порода



Химический состав :
 SiO_2 57,12 – 66,34 %
 SiO_2 (аморф.) – 31,64%
 Al_2O_3 5,74 – 6,51 %
 CaO 14,6 – 18,75 %
 K_2O 1,06 – 1,8 %
 Fe_2O_3 1,32 – 2,7 %
 MgO 1,33 – 1,8 %
 Na_2O 0,04 – 0,25 %
 TiO_2 0,25 – 0,36 %
 MnO 0,0 – 0,01%

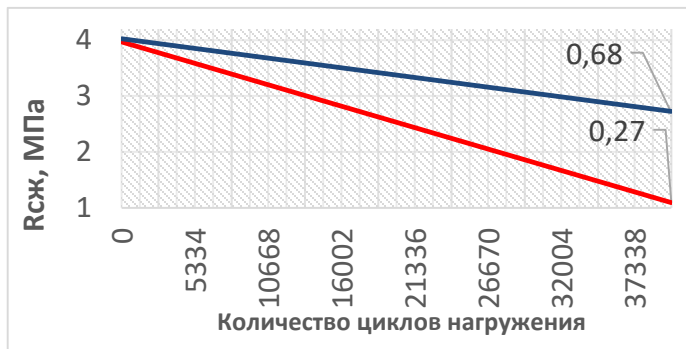


ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ



Зависимости прочности на сжатие и деформаций водонасыщенных цементогрунтов от числа приложений нагрузки

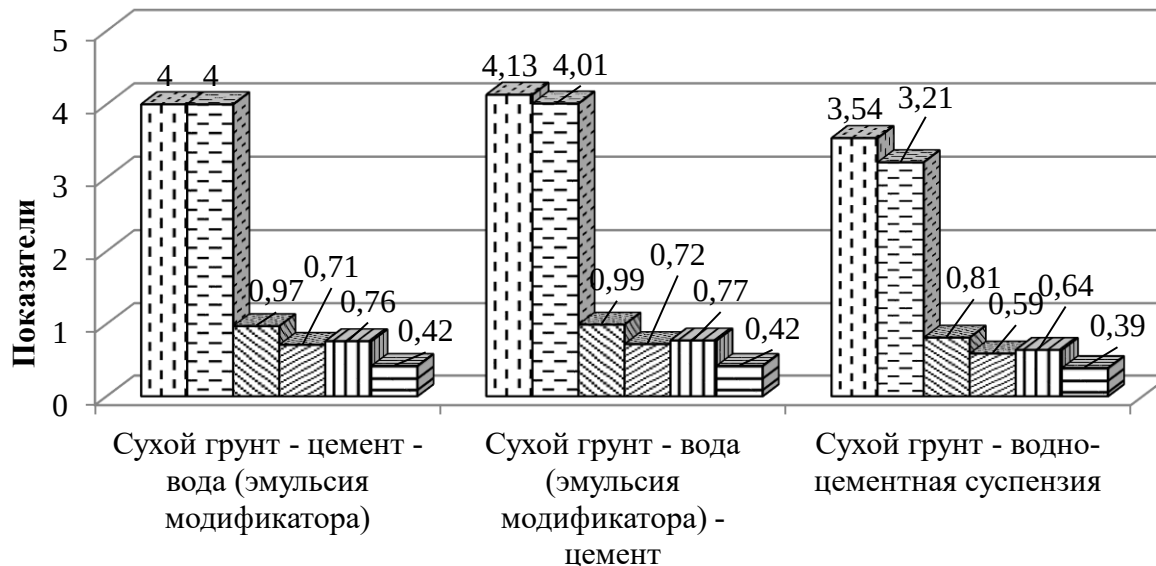
— без модификации;
— комплексно-модифицированные



Зависимости прочности на сжатие и деформаций водонасыщенных цементогрунтов от числа приложений нагрузки, с учетом переменных замораживаний-оттаиваний

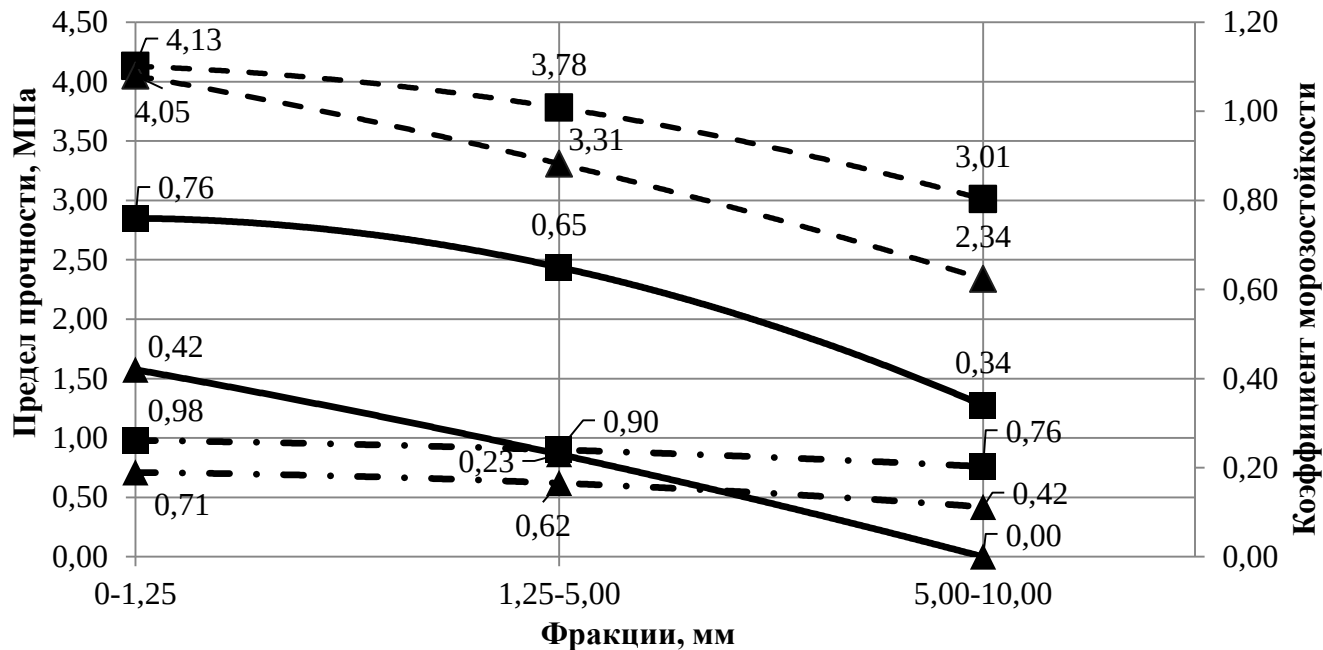
— без модификации;
— комплексно-модифицированные

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ



- Рсж комплексно-модифицированных составов
- Рсж немодифицированных составов
- ▨ Ризг комплексно-модифицированных составов
- ▨ Ризг немодифицированных составов
- ▨ Кмор комплексно-модифицированных составов
- ▨ Кмор немодифицированных составов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ



Зависимость физико-механических свойств укрепленной полиминеральной глины от размеров грунтовых агрегатов

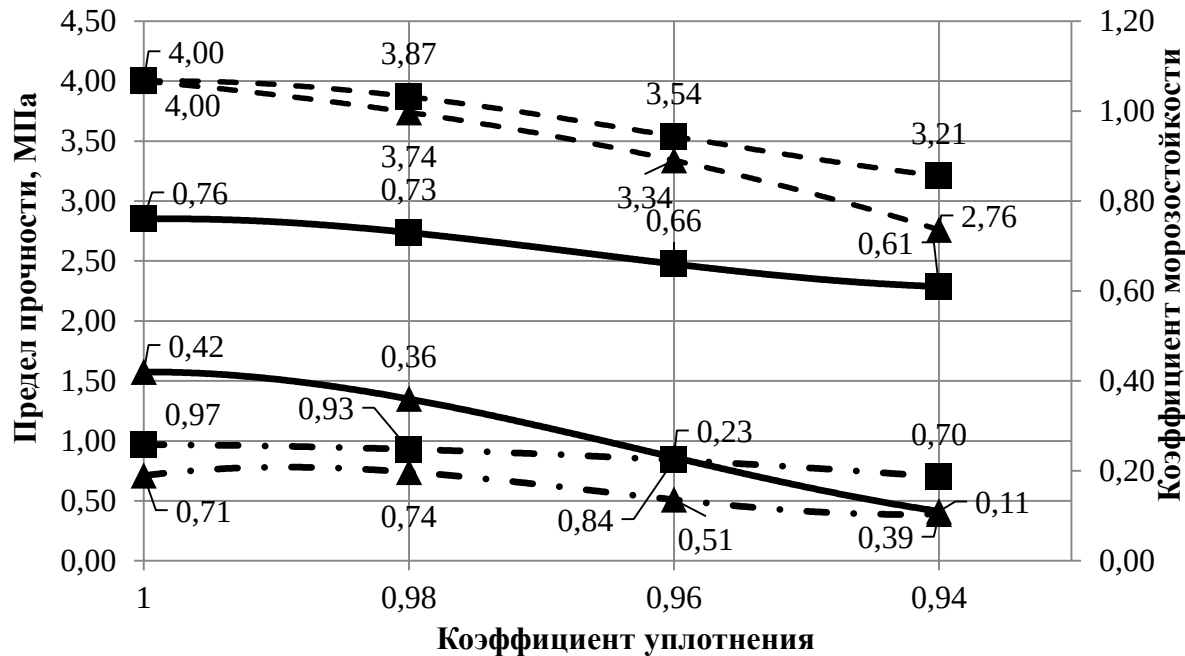
■ – комплексно-модифицированной ▲ – без модификации

----- $R_{сж}$

- · - · - $R_{изг}$

— $K_{мор}$

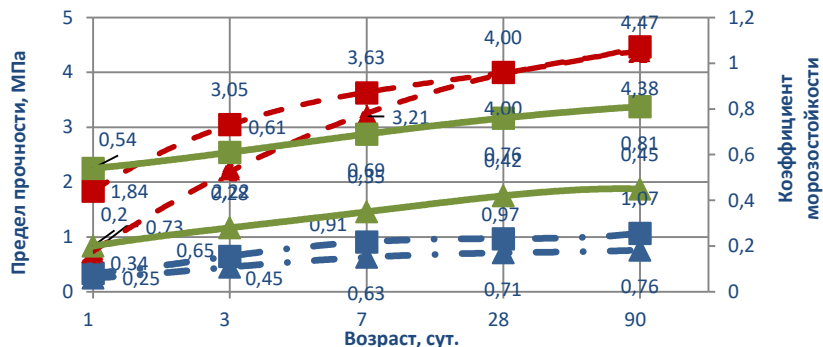
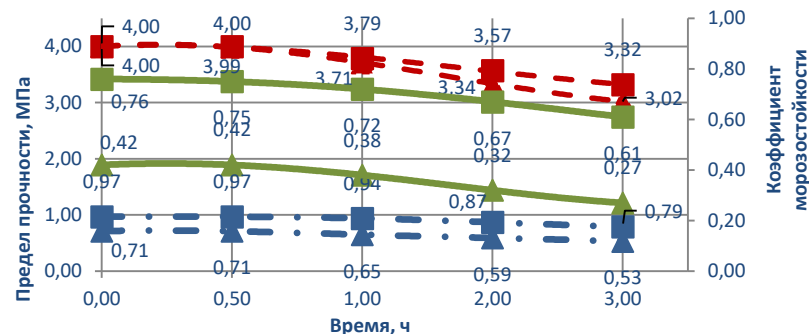
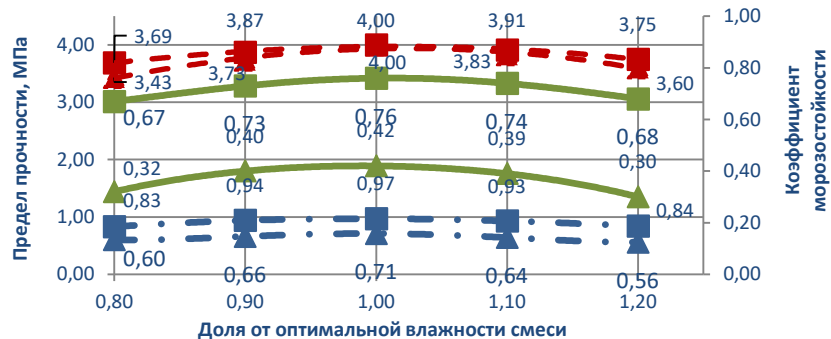
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ



Зависимость физико-механических свойств укрепленной полиминеральной глины от коэффициента уплотнения

■ – комплексно-модифицированной ▲ – без модификации
 - - - - $R_{сж}$ - · - · - $R_{изг}$ — $K_{мор}$

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ



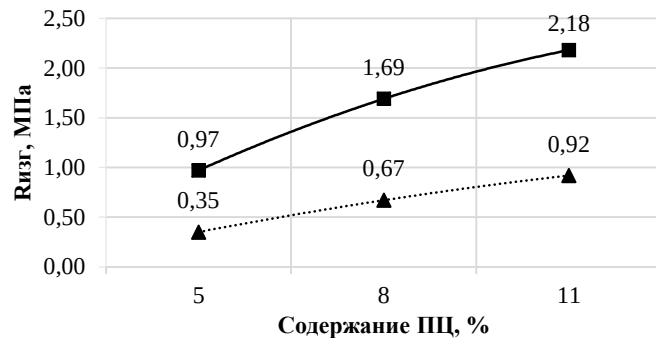
Зависимость предела прочности при сжатии, растяжение при изгибе, коэффициента морозостойкости образцов цементогрунта:

- 1) от влажности смеси;
- 2) от продолжительности технологического процесса;
- 3) от времени твердения.

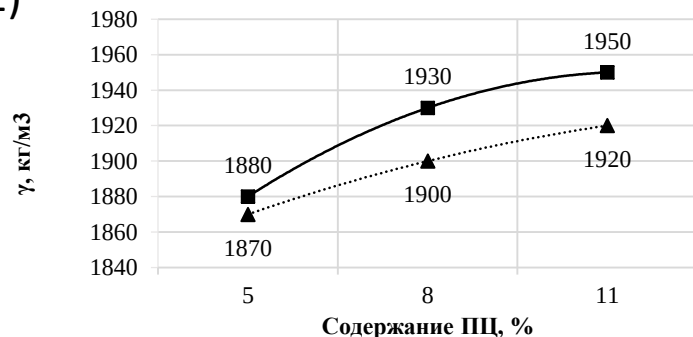
■ комплексно-модифицированные
▲ контрольные образцы
--- R_{сж}
- - - R_{изг}
— K_{мор}

РАСЧЁТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

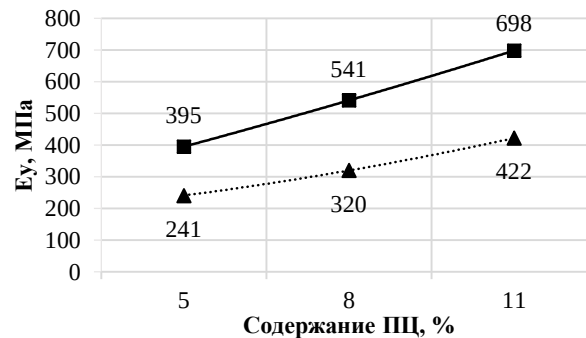
1)



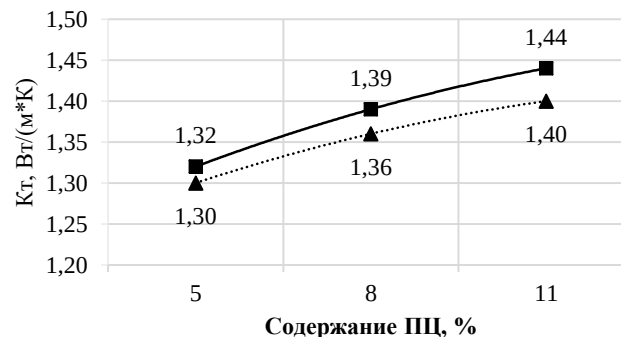
2)



3)



4)



1) – предел прочности на растяжение при изгибе; 2) – объемная плотность; 3) – расчетный модуль упругости;
4) – коэффициент теплопроводности.

■ – при комплексной модификации ▲ – без модификации;



ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

- **2013** год: при строительстве 5 экспериментальных участков на автомобильной дороге в Нурлатском районе;
- **2015** год: при строительстве 3 экспериментальных участка на автомобильной дороге в Лаишевском районе;
- **2015-2018** годы: при строительстве промысловых дорог до скважин НГДУ «Азнакаевскнефть», НГДУ «Лениногорскнефть»;
- **2018** год: при строительстве 5 экспериментальных участков на автомобильной дороге в Новошешминском районе;
- **2019** год: при строительстве 3 экспериментальных участков на автомобильной дороге в Спасском районе;
- **2020** год: при строительстве 3 экспериментальных участков на автомобильной дороге в Спасском районе;
- **2021** год: при строительстве 5 экспериментальных участков на автомобильной дороге в Сабинском и Тукаевском районе;
- **2022** год: при строительстве 2-х экспериментальных участков дорожно-уличной сети в Алексеевском районе;
- **2023** год: при строительстве 2-х экспериментальных участков на дорожно-уличной сети в Алексеевском районе;
- **2024** год: при строительстве 2-х экспериментальных участков на дорожно-уличной сети в Кайбицком районе

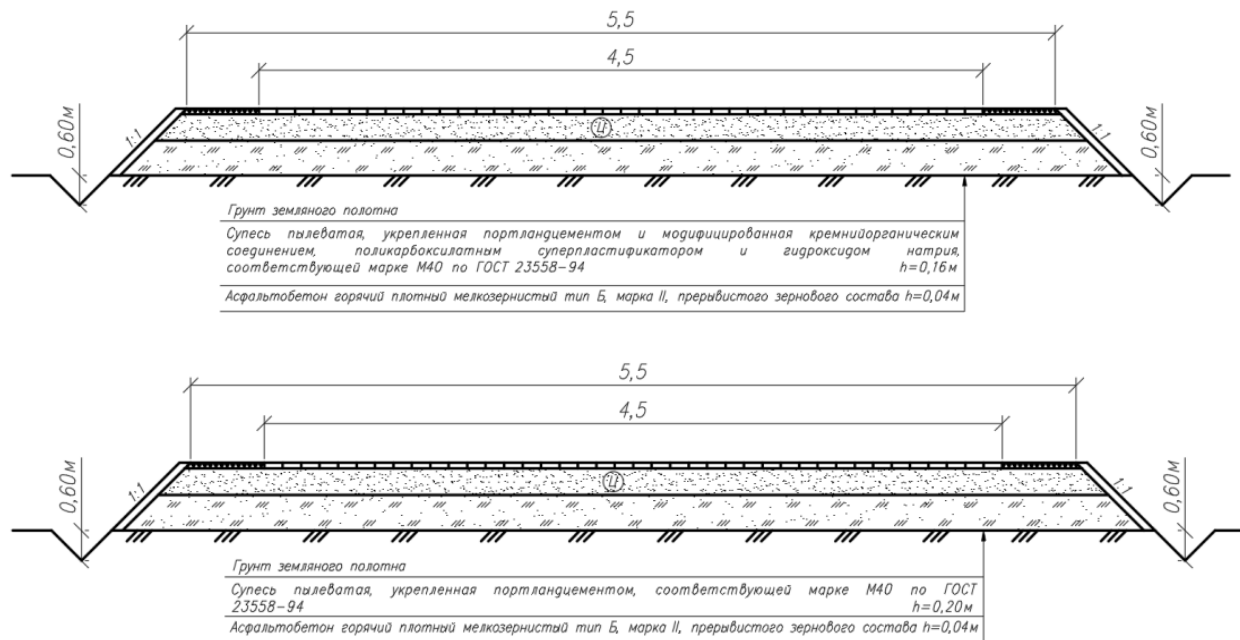


Министерство транспорта
и дорожного хозяйства
Республики Татарстан



VI-ая Научно-практическая конференция «Дороги Евразии»

КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ 2023 г. Алексеевский район



ВНЕДРЕНИЕ РАЗРАБОТОК В 2023г.г. Алексеевский район РТ



Подвоз и распределение грунта



Прикатка основания



Распределение цемента
цементораспределителем



Смешение цементогрунта ресайклером с увлажнением и введением водорастворимых модификаторов



ВНЕДРЕНИЕ РАЗРАБОТОК В 2023 г.г. Алексеевский район РТ



Профилирование слоя



Уплотнение слоя основания



Розлив битумной эмульсии



Определение модуля упругости



Укладка верхнего слоя покрытия



Мониторинг

ВНЕДРЕНИЕ РАЗРАБОТОК В 2024г. Кайбицкий район РТ





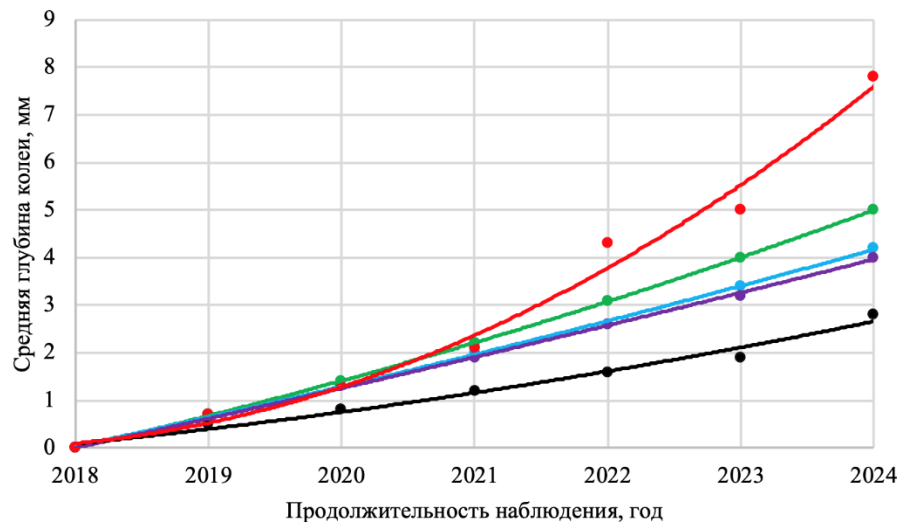
Определение дефектности покрытия



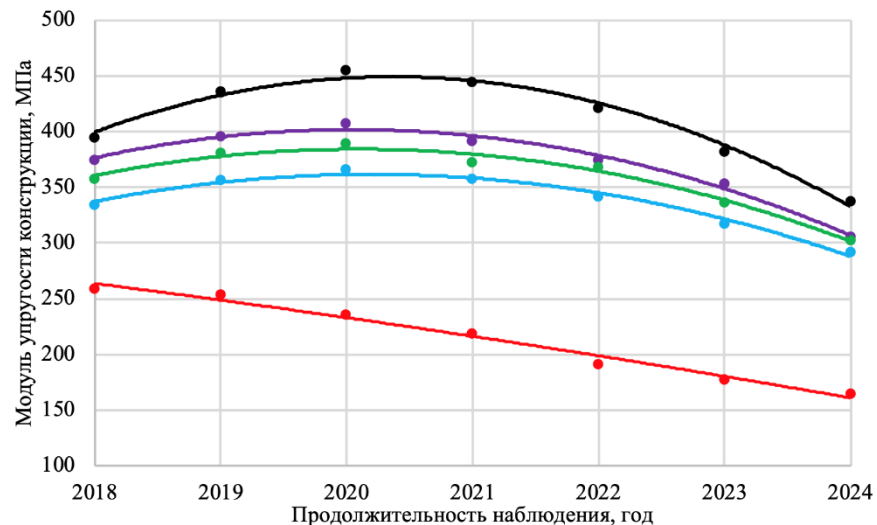
Определение модуля упругости

VI-ая Научно-практическая конференция «Дороги Евразии»

1)



2)

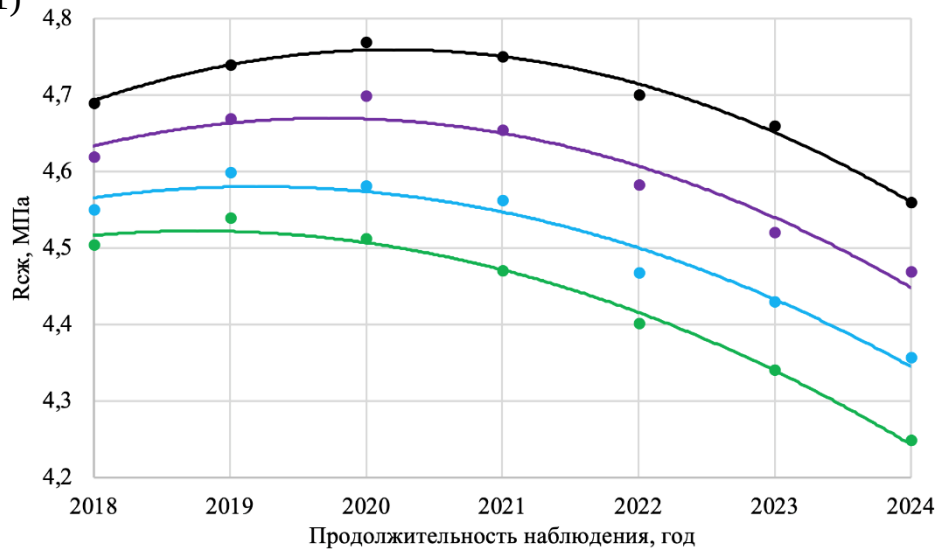


Зависимости эксплуатационных характеристик состояния автомобильной дороги по годам

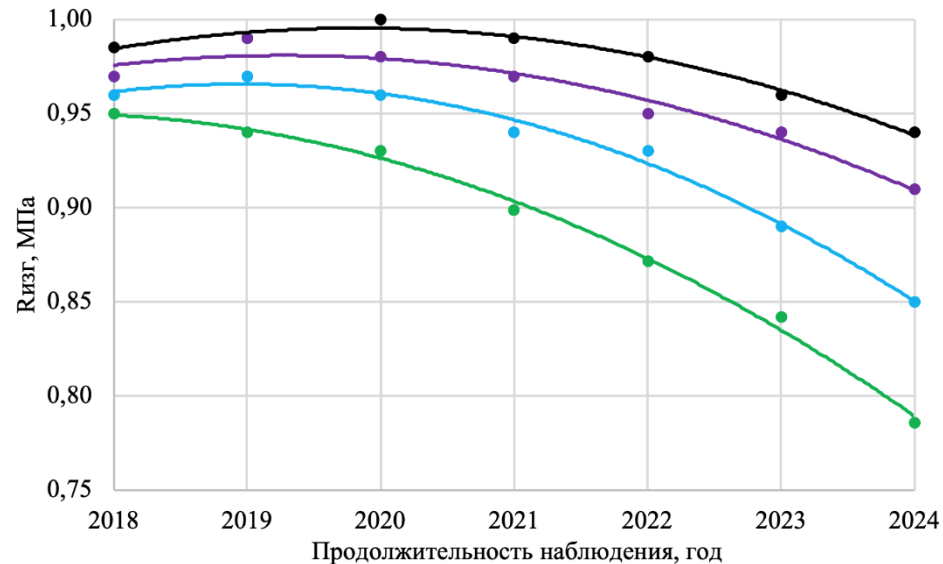
1 – средняя глубина колеи; 2 – модуль упругости конструкции дорожной одежды

— Участок 1; — Участок 2; — Участок 3; — Участок 4; — основания из комплексно-модифицированных цементогрунтов
— Участок 5 – основание из щебня и песка

1)



2)

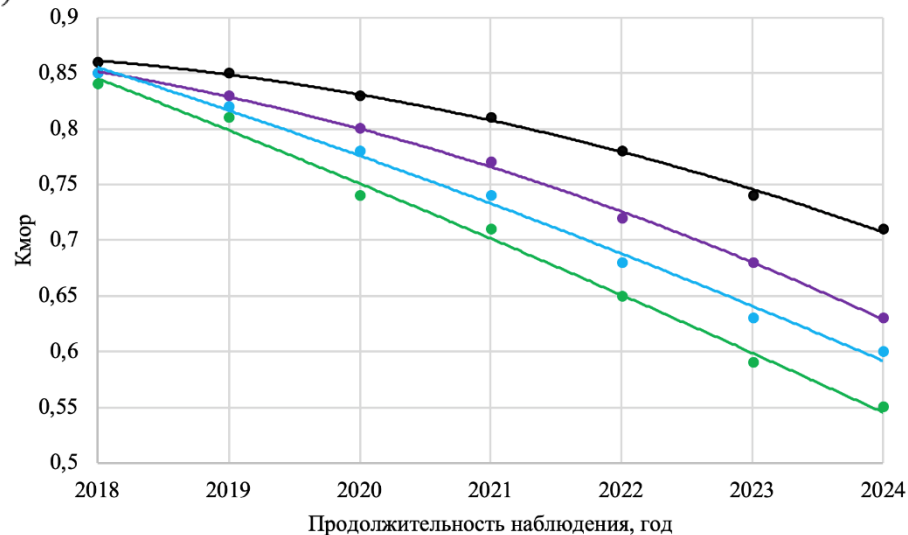


Физико-механические свойства комплексно-модифицированных цементогрунтов, отобранных из оснований автомобильной дороги по годам

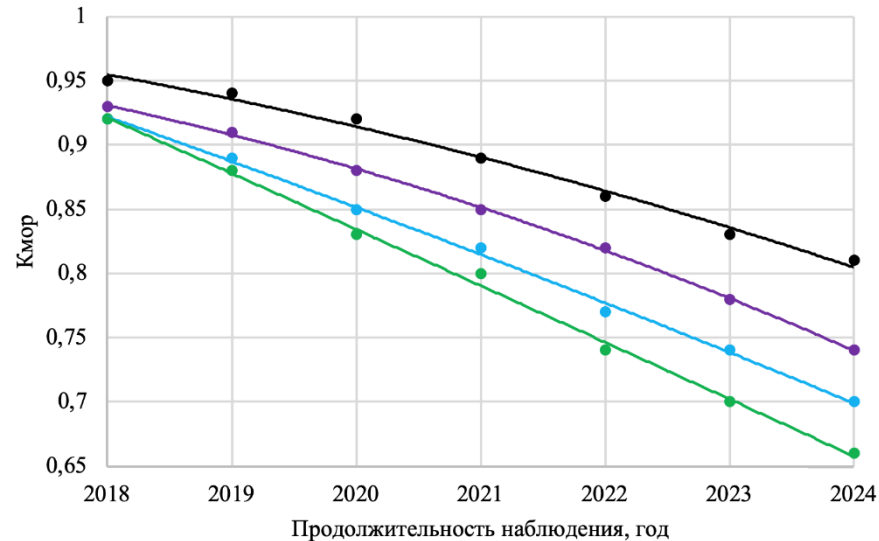
1 – предел прочности при сжатии; 2 – предел прочности на растяжение при изгибе

— - Участок 1; — - Участок 2; — - Участок 3; — - Участок 4; — основания из комплексно-модифицированных цементогрунтов

1)



2)



Коэффициент морозостойкости комплексно-модифицированных цементогрунтов, отобранных из оснований автомобильной дороги по годам

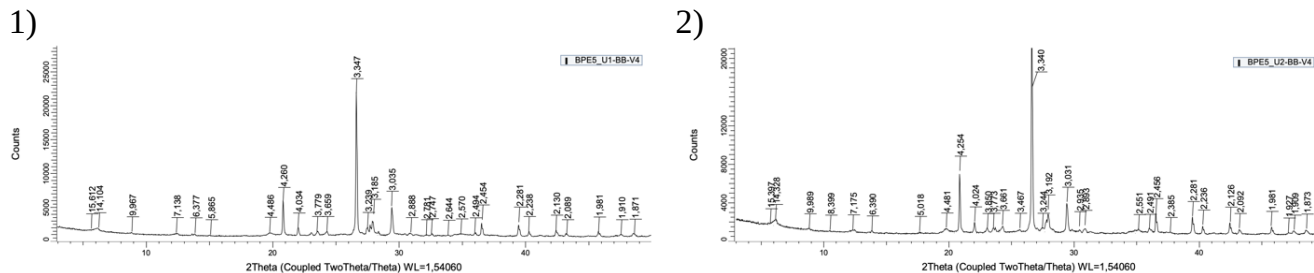
1 – 25 циклов попеременного замораживания-оттаивания; 2 – 15 циклов попеременного замораживания-оттаивания

— Участок 1; — Участок 2; — Участок 3; — Участок 4; — основания из комплексно-модифицированных цементогрунтов

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ С ВНЕДРЕНИЯ

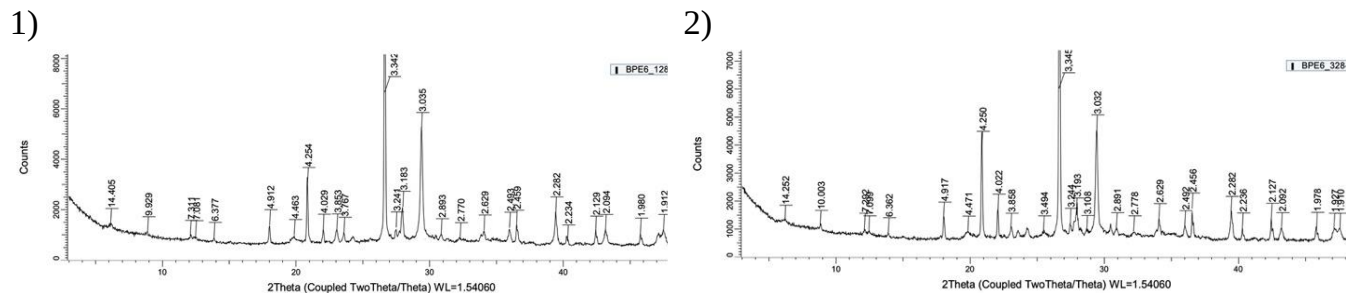
Показатели физико- механических испытаний	Участки автомобильной дороги					
	Участок 1 (комплексно-модифицированный цементогрунт)			Участок 2 (немодифицированный цементогрунт)		
	Образцы- вырубки	Лабораторные образцы	Требования ГОСТ 23558-94, не менее; (марка)	Образцы- вырубки	Лабораторные образцы	Требования ГОСТ 23558-94, не менее; (марка)
Предел прочности при сжатии, МПа	4.3	4.78	4.00; (М40)	2.16	2.49	2.00; (М20)
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	1.01	1.30	0.80; (М40)	0.41	0.55	0.40; (М20)
Коэффициент морозостойкости	0.77	0.81	0.75; (F15)	0.75	0.8	0.75; (F10)

РЕНТГЕНО-ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ С ВНЕДРЕНИЯ



Дифрактограммы цементогрунтов из основания дорожных одежд

1) – комплексно-модифицированный цементогрунт; 2) – немодифицированный цементогрунт

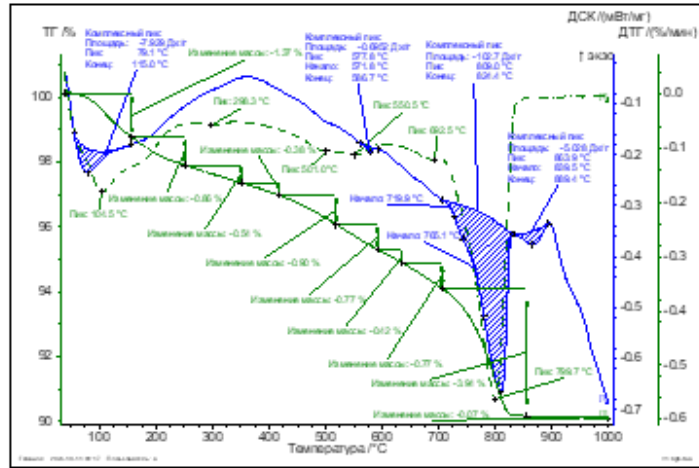


Дифрактограммы лабораторных цементогрунтов

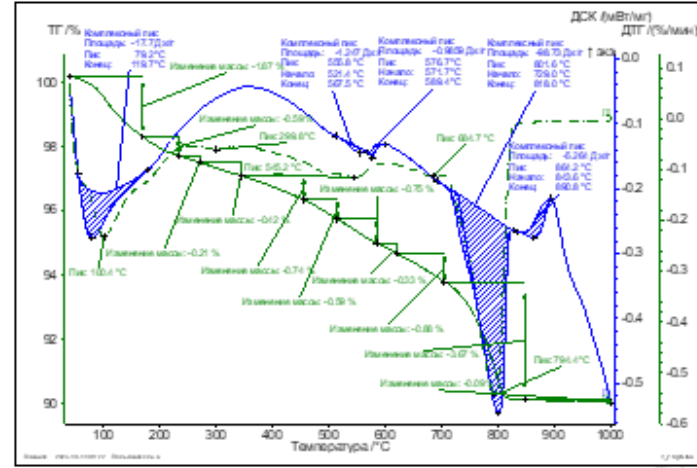
1) – комплексно-модифицированный цементогрунт; 2) – немодифицированный цементогрунт

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ С ВНЕДРЕНИЯ

1)



2)



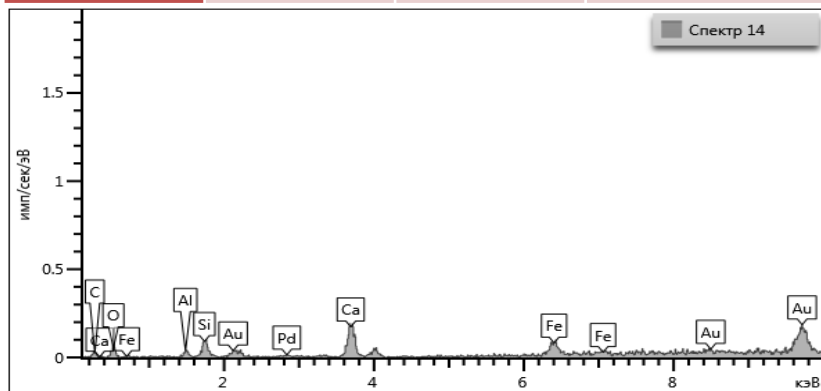
Дериватограммы цементогрунтов из основания дорожных одежд

1 – комплексно-модифицированный цементогрунт;

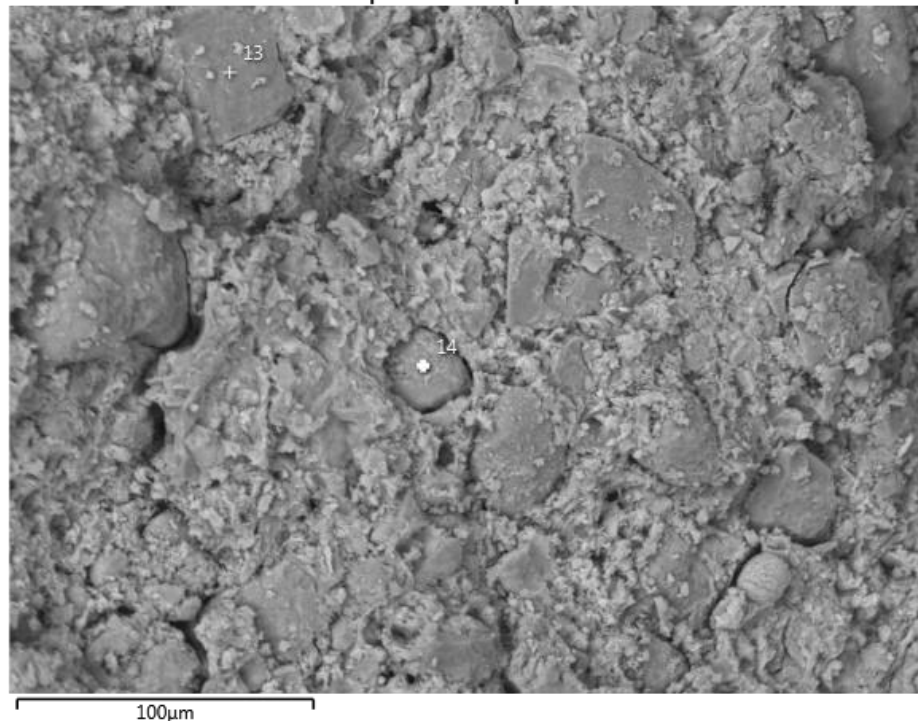
2 – немодифицированный цементогрунт

МИКРОСКОПИЯ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ С ВНЕДРЕНИЯ

Элемент	Вес. %	Атом. %	Название эталона
C	20.07	35.75	C Vit
O	28.62	38.28	SiO ₂
Al	2.55	2.02	Al ₂ O ₃
Si	5.82	4.43	SiO ₂
Ca	20.32	10.85	Wollastonite
Fe	22.62	8.67	Fe
Сумма:	100.00	100.00	



Электронное изображение 4



ПРОЦЕССЫ ИНТЕРКАЛИРОВАНИЯ И ХЕМОСОРБЦИИ В МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТОГРУНТАХ

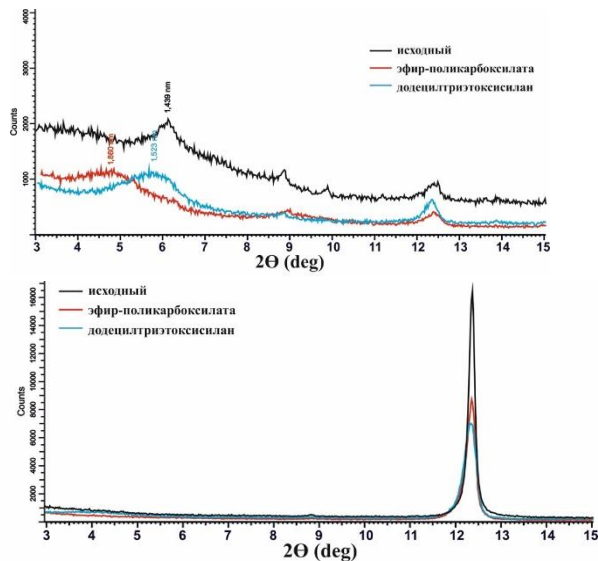
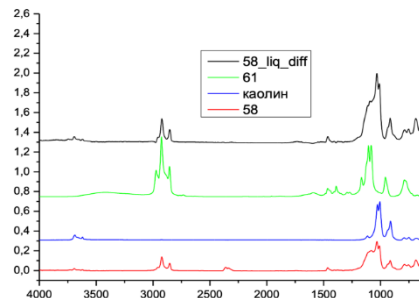
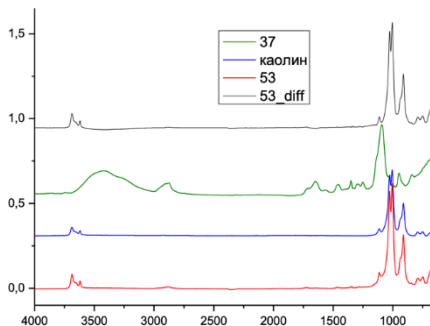


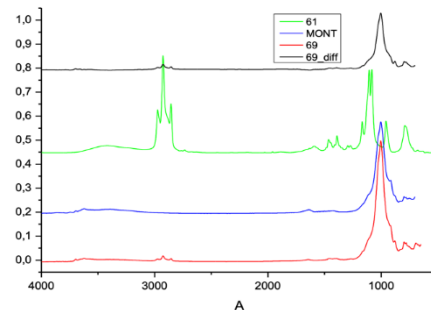
Рисунок 1 – Дифрактограммы исследуемых глин:
— не модифицированная глина; — глина, модифицированная
эфиром поликарбоксилата; — глина, модифицированная
додецилтриэтоксисилоном
1 – монтмориллионовая глина; 2 – каолиниевая глина



1 – каолинит; монтмориллонит
— разностный спектр; — додецилтриэтоксисилоном; — глина;
— глина, модифицированная додецилтриэтоксисилоном



— разностный спектр; — эфир поликарбоксилата; — глина;
— глина, модифицированная эфиром поликарбоксилата



Сравнение фазового состава цементогрунтов, отобранных из основания дорожных одежд и изготовленных в лаборатории

Наименование минералов в цементогрунтах	Лабораторные образцы		Образцы, отобранные из основания автомобильной дороги	
	Комплексно-модифицированные цементогрунты	Немодифицированный цементогрунт	Комплексно модифицированные цементогрунты	Немодифицированные цементогрунты
Портландит	2.64 %	1.46 %	1.92	1.21
Кальцит	17.10 %	21.08 %	8.46	7.12
Гидросиликаты кальция	1.15 %	0.58 %	0.52	0.39
C_3S и C_2S	1.64 %	2.62 %	1.11	1.75
Аморфная фаза	29.9 %	27 %	27.3	25.2

Результаты сравнительных испытаний модулей упругости цементогрунтов

Материал основания дорожной одежды	Модуль упругости, МПа		
	Слоя дорожной одежды	Лабораторного исследований	Требования ПНСТ 542-2021, не менее
Модифицированный цементогрунт, марка по прочности М40	510	550	400
Немодифицированный цементогрунт, маркой по прочности М20	260	300	250

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Совместно с Министерством транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан, ГКУ «Главтатдортранс», дорожными организациями

Атласный район

Вид покрытия	Классификация	Дорожные одеяла			
		Конструкция	Размеры слоев	Размеры слоев	Размеры слоев
1	2	3	4	5	6
Песок, карбонатный щебень	Осушающий	1 - Асфальтобетонный слой	$B_{100} = 5 \text{ см}$	$B_{100} = 4 \text{ см}$	
		2 - Асфальтобетонный слой	$B_{100} = 10 \text{ см}$	$B_{100} = 8 \text{ см}$	
		3 - Асфальтобетонный слой	$B_{100} = 20 \text{ см}$	$B_{100} = 16 \text{ см}$	
		4 - Асфальтобетонный слой	$B_{100} = 30 \text{ см}$	$B_{100} = 24 \text{ см}$	

Казань 2018

Исследованы грунты и материалы карьеров местного минерального сырья Республики Татарстан (щебень, песок, ПГС).
Определены их свойства и пригодность для дорожных одежд;
Разработаны оптимальные составы укрепленных грунтов с добавками на основе гидрофобных и гидрофильных ПАВ и полимеров, электролитов, активированных минеральных наполнителей, фиброволокон. В качестве гранулометрических добавок применены местные минеральные материалы (песок, ПГС, карбонатный щебень) с действующих карьеров и асфальтобетонный гранулят;

Разработаны Альбомы эффективных конструкции дорожных одежд автомобильных дорог IV и V технической категории с применением в качестве слоев основания укрепленных, модифицированных местных минеральных материалов и отходов промышленности Республики Татарстан,
Стандарты организации Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан, Технические условия, Технологические регламенты;
 Выполнено строительство более **30** экспериментальных участков автомобильных дорог в Республике Татарстан и осуществляется **мониторинг** их состояния в процессе эксплуатации в **2013-2025 г.г.**



КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Комплексная модификация в технологии
укрепления грунтов для дорожных одежд**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

Проректор по научно-исследовательской деятельности
Заведующий кафедрой автомобильных дорог, мостов и тоннелей
Вдовин Евгений Анатольевич



Министерство транспорта
и дорожного хозяйства
Республики Татарстан



VI-ая Научно-практическая конференция «Дороги Евразии»