



Комплексная модификация укреплённых грунтов при проектировании и строительстве автомобильных дорог

Вдовин Евгений Анатольевич

Проректор по научно-исследовательской деятельности

Заведующий кафедрой автомобильных дорог, мостов и тоннелей

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ КГАСУ



НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КГАСУ «ДОРОГИ»



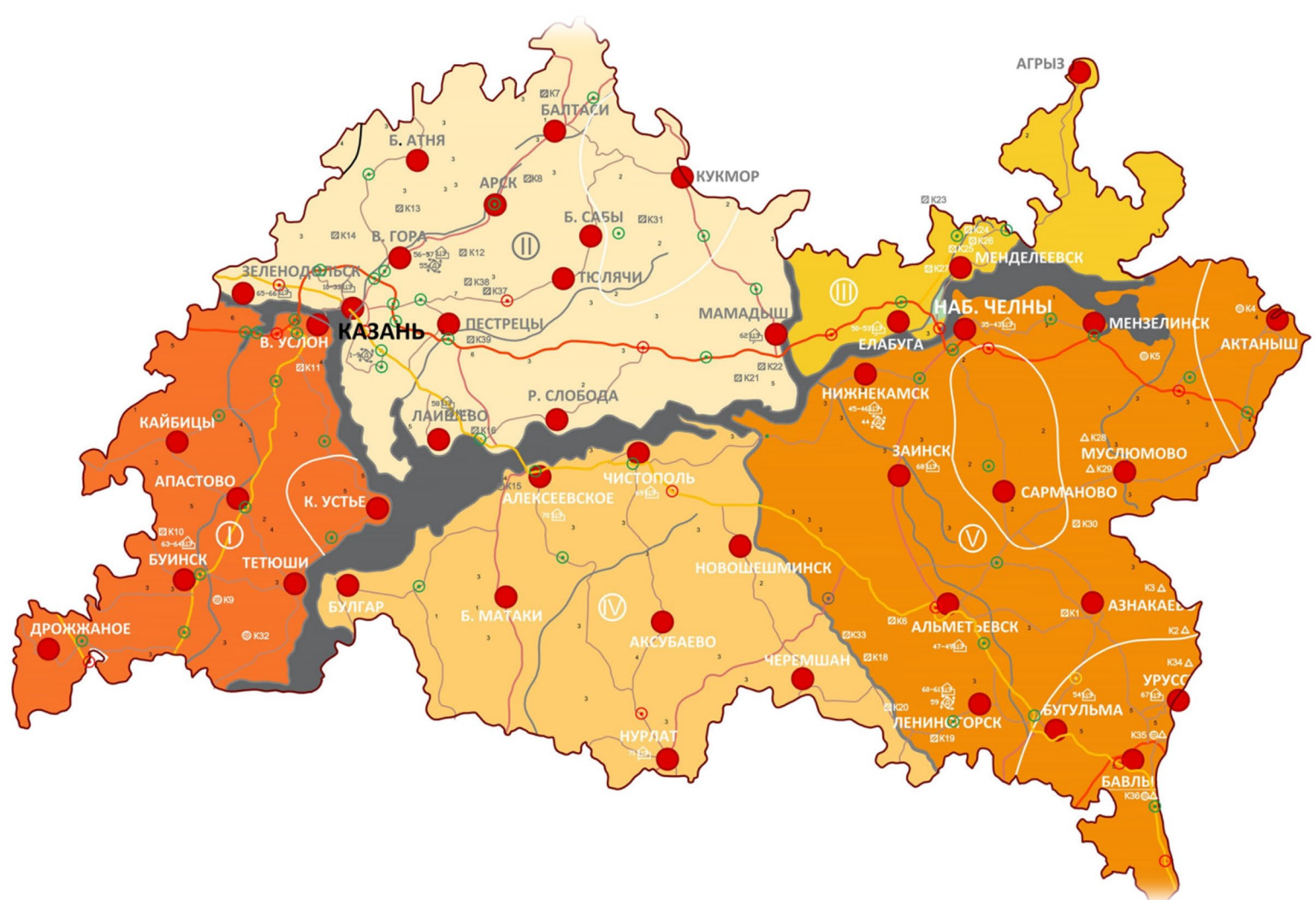
НАПРАВЛЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ,
ТЕХНОЛОГИЙ И КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ
МЕСТНЫХ УКРЕПЛЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Проект направлен на увеличение объемов строительства автомобильных дорог с применением местной минерально-сырьевой базы, отходов производств и повышение сроков службы дорожных конструкций.

АНАЛИЗ СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

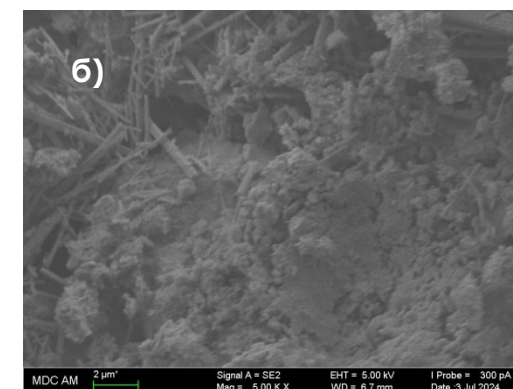
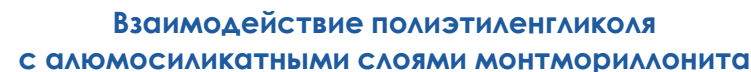


ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ЗОНЫ ТАТАРСТАНА

- Ⅰ ПРЕДВОЛЖЬЕ
- Ⅱ ЗАПАДНОЕ ПРЕДКАМЬЕ
- Ⅲ ВОСТОЧНОЕ ПРЕДКАМЬЕ
- Ⅳ ЗАПАДНОЕ ЗАКАМЬЕ
- Ⅴ ВОСТОЧНОЕ ЗАКАМЬЕ

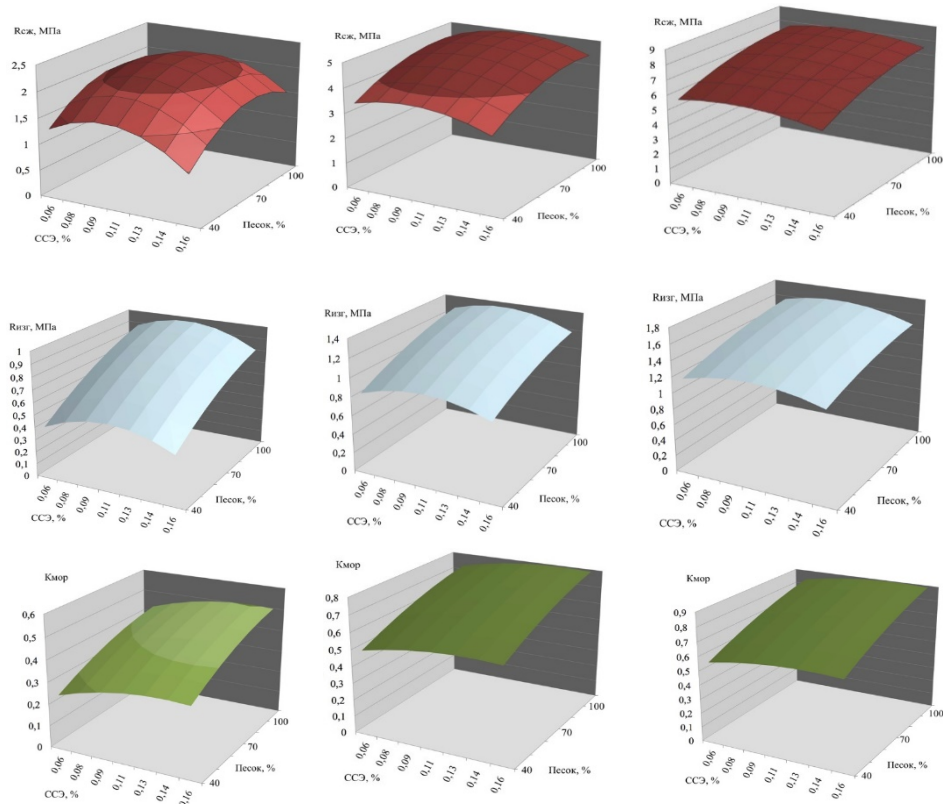
НЕРУДНЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

- МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЩЕБНЯ
- МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПЕСКА
- МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПГС



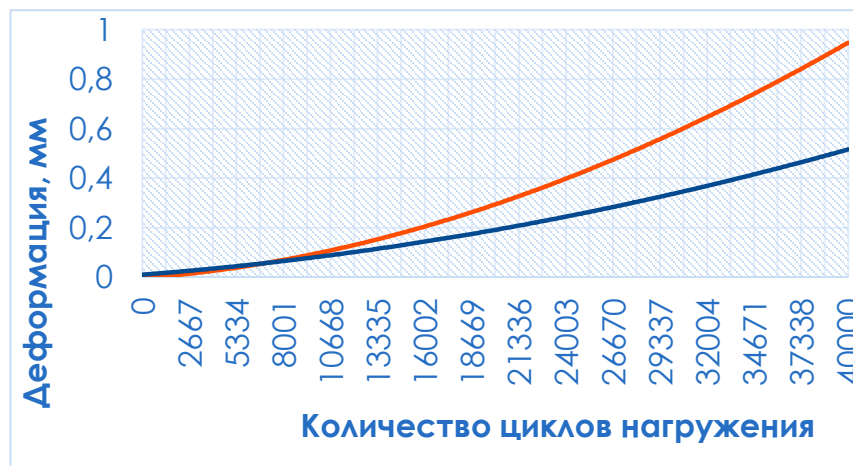
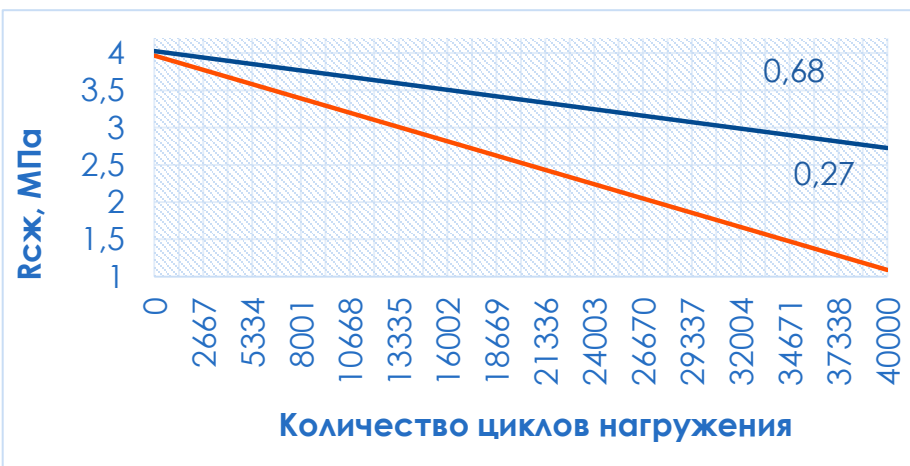
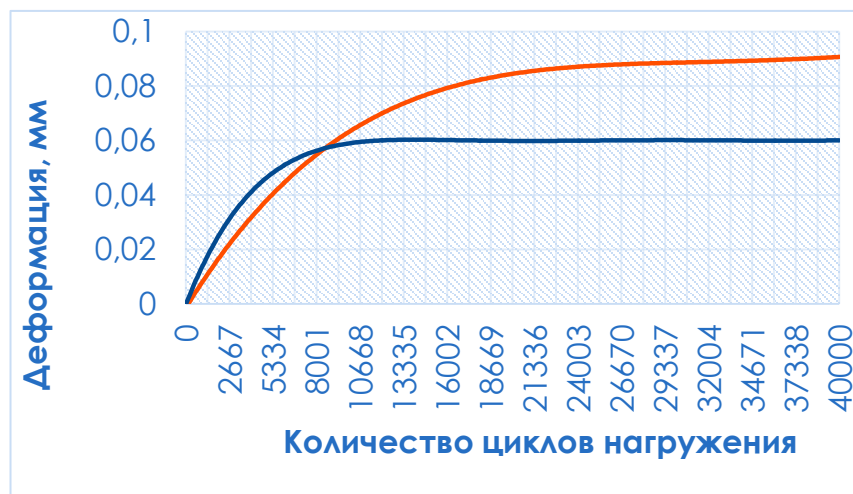
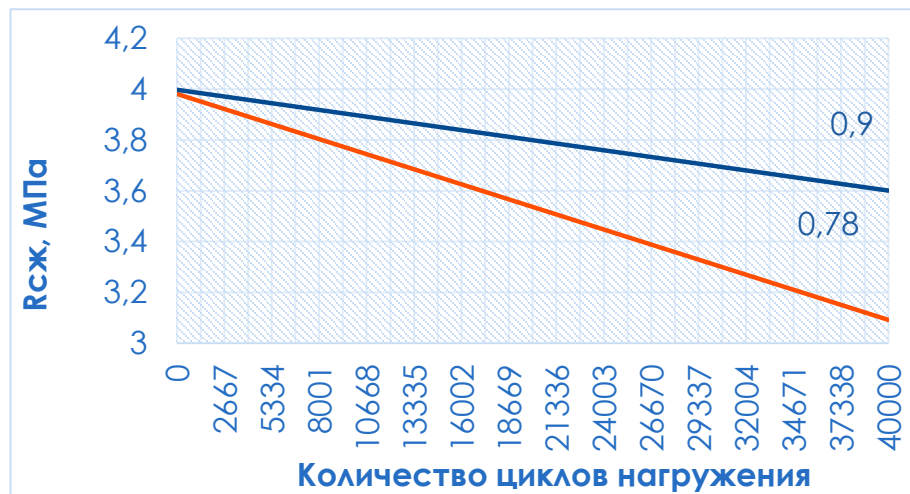
Микроструктура сколов образцов
а) цементогрунта без модификаторов,
б) цементогрунта с комплексным модификатором

Комплексная модификация укрепленных грунтов и оптимизация их состава

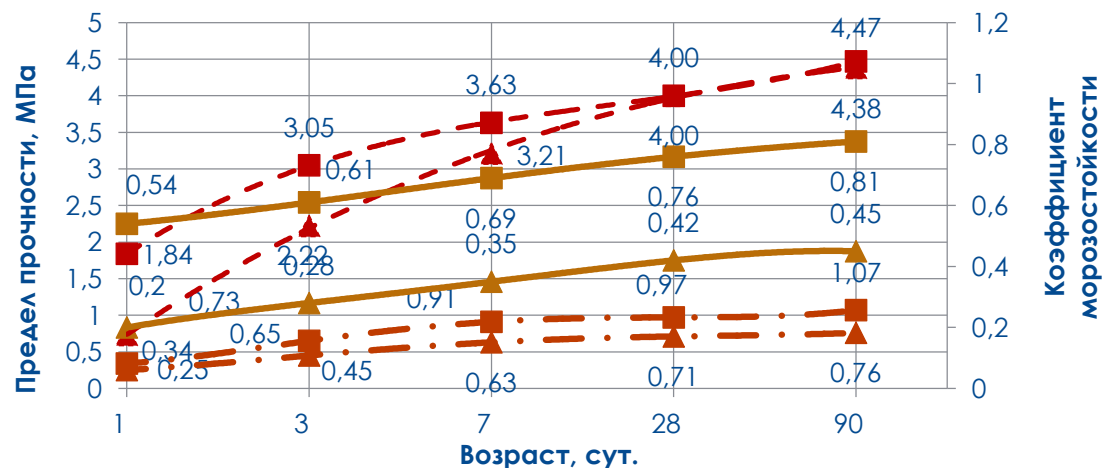
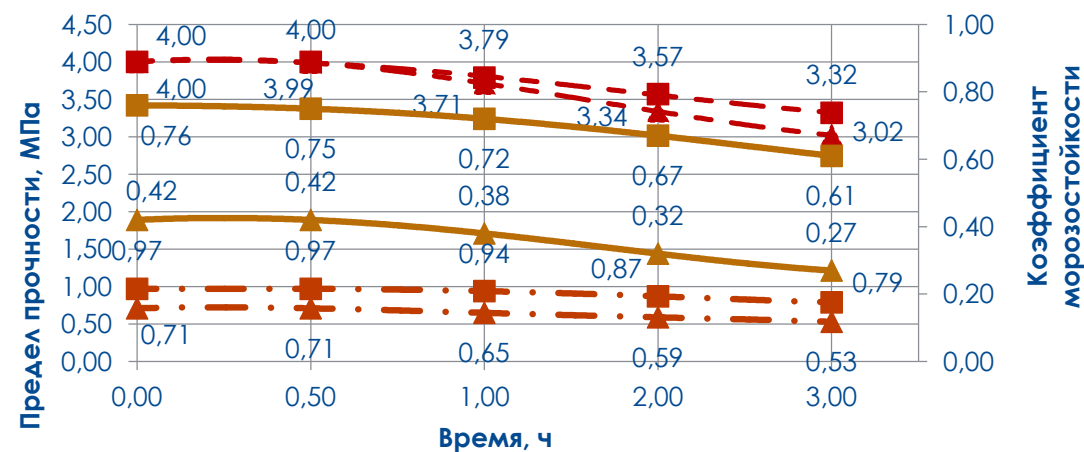
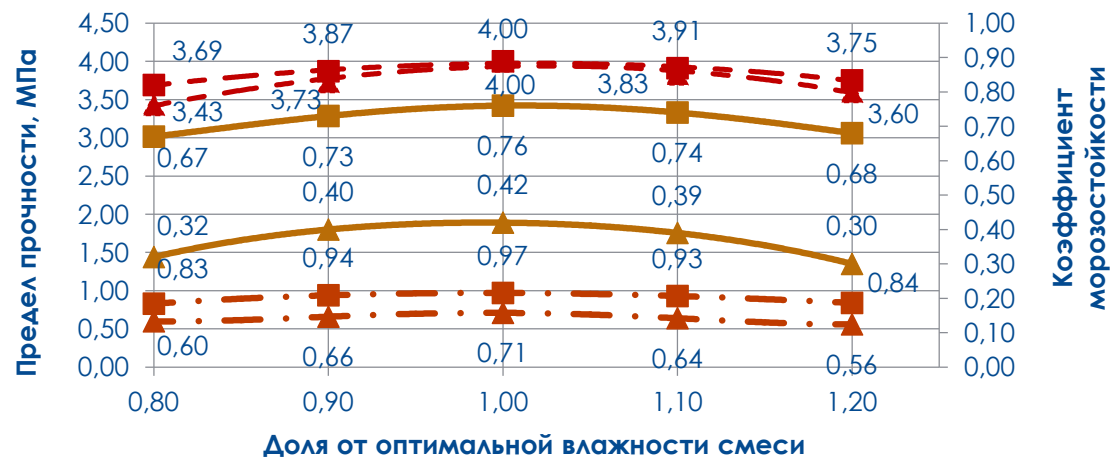


№	Расход ПЦ, %		Дозировка ПСК, %		Дозировка ОТЭС, %		Предел прочности на сжатие (экспер.), МПа Предел прочности на растяжение при изгибе (экспер.), МПа Коэффициент морозостойкости (экспер.)			Предел прочности на сжатие (расчет.), МПа Предел прочности на растяжение при изгибе (расчет.), МПа Коэффициент морозостойкости (расчет.)		
	X ₁	X ₁	X ₂	X ₂	X ₃	X ₃	R _{сж}	R _{изг}	K _{мор}	R _{сж}	R _{изг}	K _{мор}
1	-1	6	-1	0,06	-1	40	0,79	0,48	0,18	1,34	0,42	0,25
2	1	12	-1	0,06	-1	40	5,76	1,22	0,43	5,84	1,21	0,57
3	-1	6	1	0,16	-1	40	0,55	0,52	0,26	0,97	0,41	0,33
4	1	12	1	0,16	-1	40	5,23	1,2	0,51	5,44	1,17	0,63
5	-1	6	-1	0,06	1	100	1,47	1	0,45	1,68	0,88	0,42
6	1	12	-1	0,06	1	100	7,78	1,59	0,81	7,69	1,56	0,83
7	-1	6	1	0,16	1	100	1,16	0,93	0,55	1,48	0,80	0,50
8	1	12	1	0,16	1	100	7,67	1,54	0,87	7,45	1,46	0,89
9	-1,68	3,96	0	0,11	0	70	1,38	0,31	0,13	0,68	0,48	0,14
10	1,68	14,04	0	0,11	0	70	9,84	1,76	0,91	9,49	1,69	0,74
11	0	9	-1,68	0,026	0	70	4,24	0,88	0,67	3,78	0,90	0,56
12	0	9	1,68	0,194	0	70	3,69	0,71	0,75	3,27	0,81	0,67
13	0	9	0	0,11	-1,68	19,6	3,18	0,73	0,66	2,50	0,75	0,45
14	0	9	0	0,11	1,68	120,4	4,67	1,29	0,78	4,48	1,37	0,81
15	0	9	0	0,11	0	70	3,56	1,12	0,48	4,79	1,21	0,71
16	0	9	0	0,11	0	70	4,43	1,32	0,51	4,79	1,21	0,71
17	0	9	0	0,11	0	70	4,51	0,99	0,79	4,79	1,21	0,71
18	0	9	0	0,11	0	70	5,15	1,39	0,71	4,79	1,21	0,71
19	0	9	0	0,11	0	70	4,49	1,08	0,79	4,79	1,21	0,71
20	0	9	0	0,11	0	70	4,49	1,08	0,79	4,79	1,21	0,71

ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ



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**

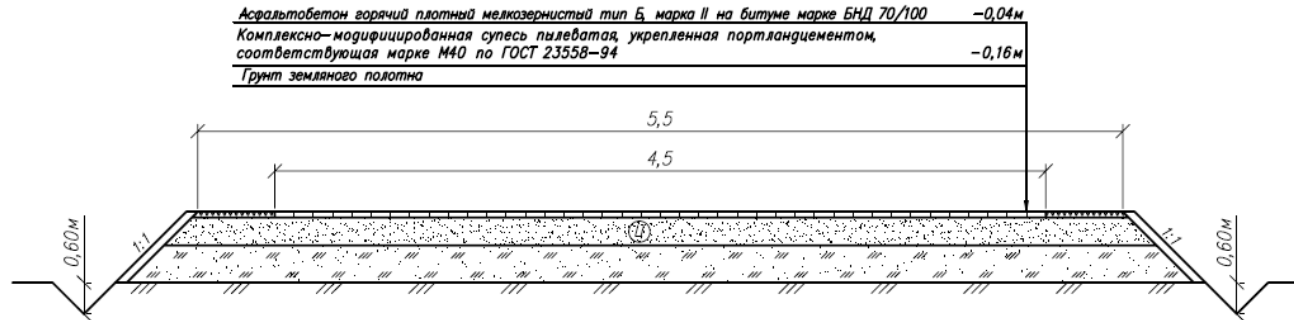
--- **Р_{сж}**
 -.- **Р_{изг}**
 — **К_{мор}**

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

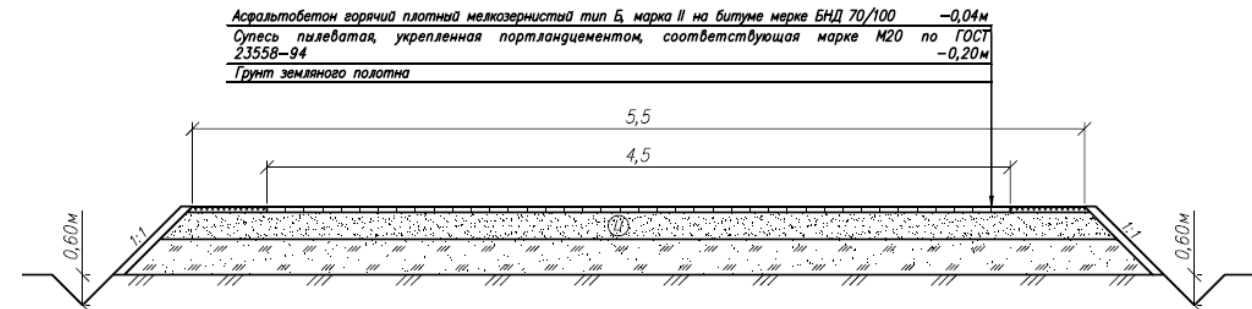
- **2013** год: при строительстве 5 экспериментальных участков на автомобильной дороге в Нурлатском районе;
- **2015** год: при строительстве 3 экспериментальных участка на автомобильной дороге в Лаишевском районе;
- **2015-2018** годы: при строительстве промысловых дорог до скважин НГДУ «Азнакаевскнефть», 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

КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ 2023 г. Алексеевский район

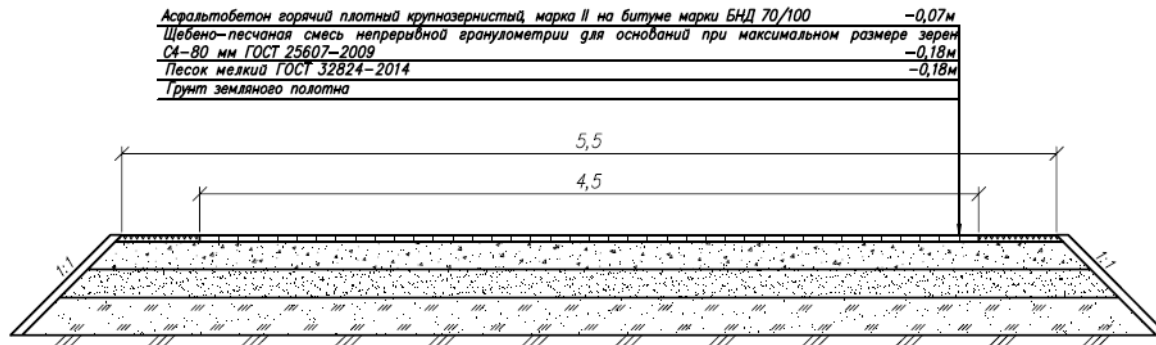
конструкция дорожной одежды с комплексно-модифицированным цементогрунтом в основании



конструкция дорожной одежды с цементогрунтом в основании



конструкция дорожной одежды с щебеночно-песчаной смесью в основании



 ВНЕДРЕНИЕ РАЗРАБОТОК В 2023-2024г.г.
Алексеевский район



Подвоз и распределение грунта



Прикатка основания



**Распределение цемента
цементораспределителем**



Смешение цементогрунта ресайклером с увлажнением и введением водорастворимых модификаторов



 ВНЕДРЕНИЕ РАЗРАБОТОК В 2023-2024г.г.
Алексеевский район



Профилирование слоя



Уплотнение слоя основания



Розлив битумной эмульсии



Определение модуля упругости



Укладка верхнего слоя покрытия

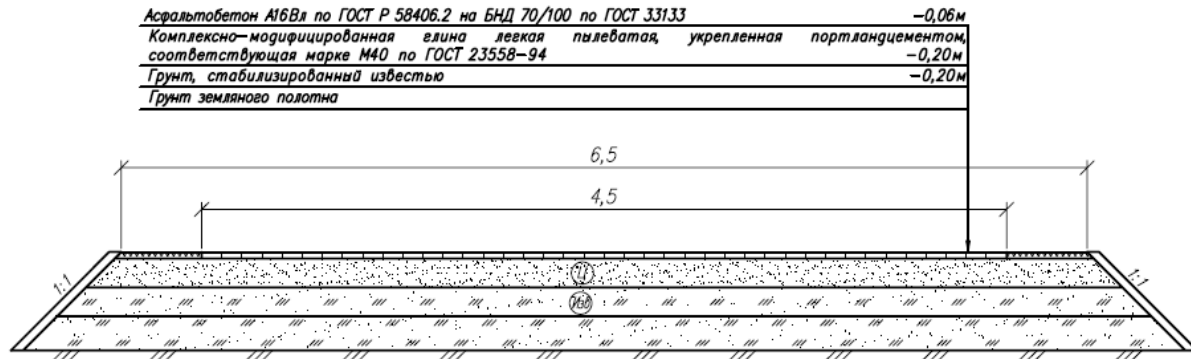


Мониторинг

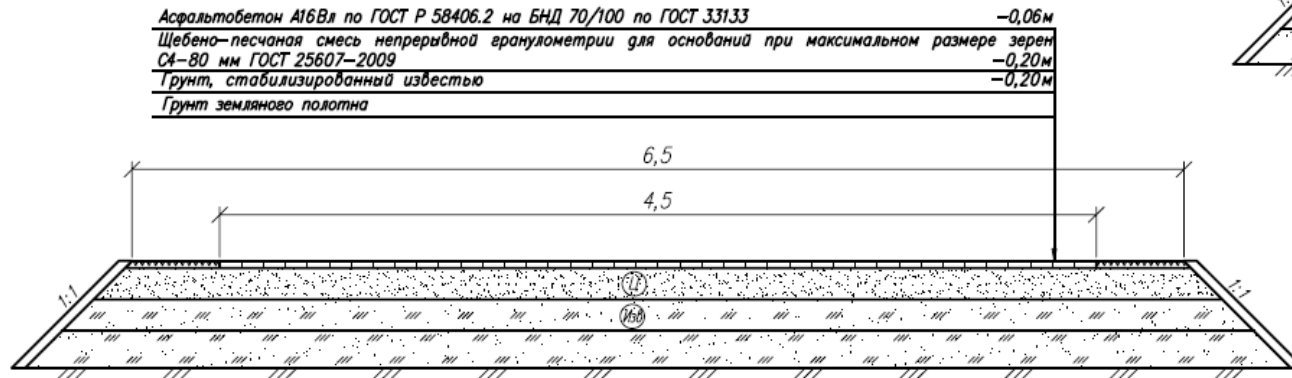
КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ 2024 г.

Кайбицкий район

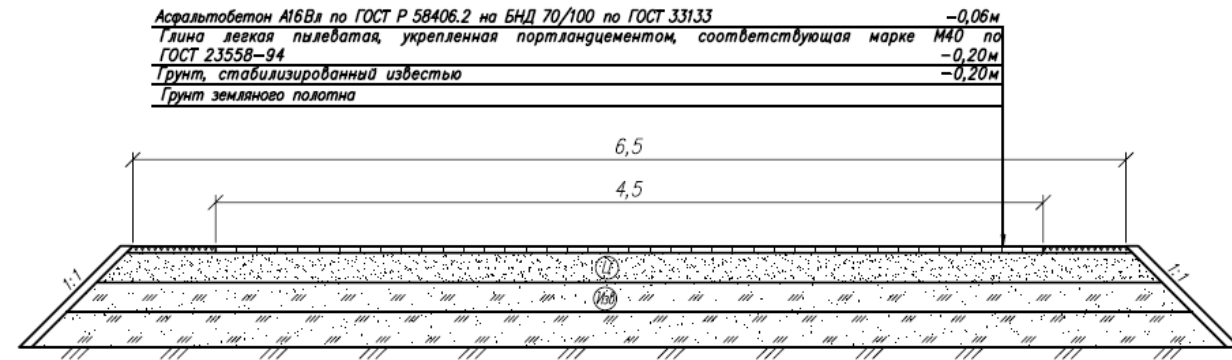
конструкция дорожной одежды с комплексно-модифицированным цементогрунтом в основании



конструкция дорожной одежды с щебеночно-песчаной смесью в основании



конструкция дорожной одежды с цементогрунтом в основании



ВНЕДРЕНИЕ РАЗРАБОТОК В 2024г. Кайбицкий район



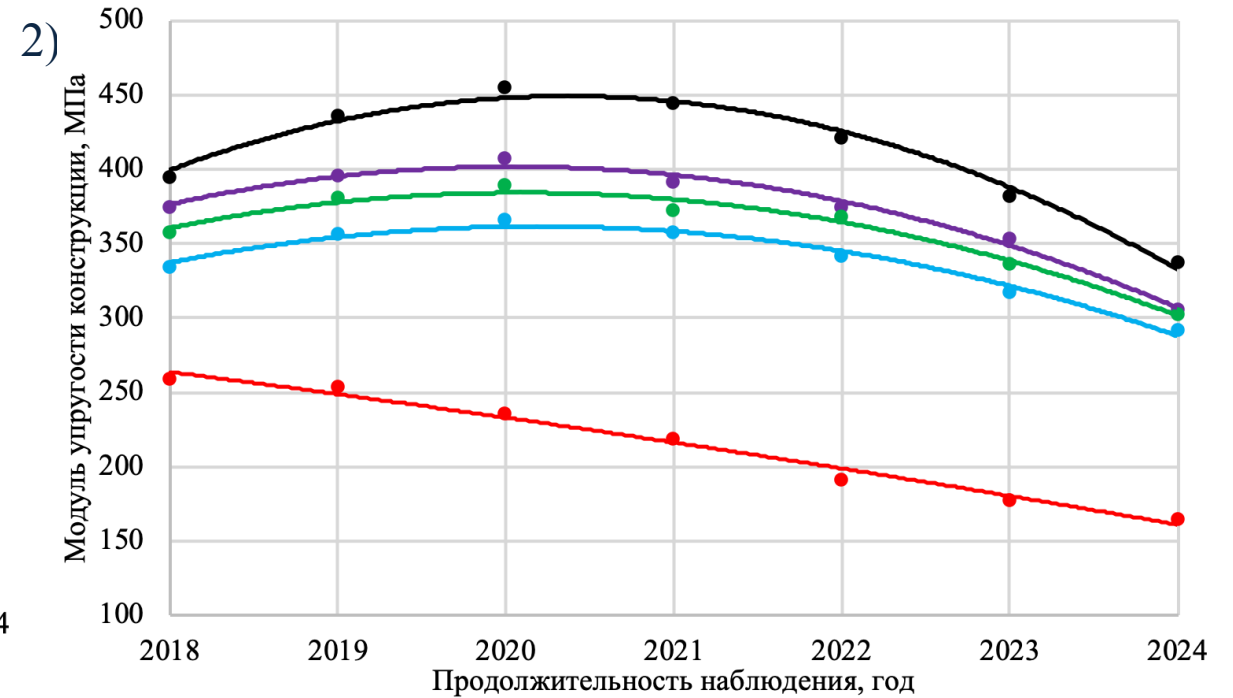
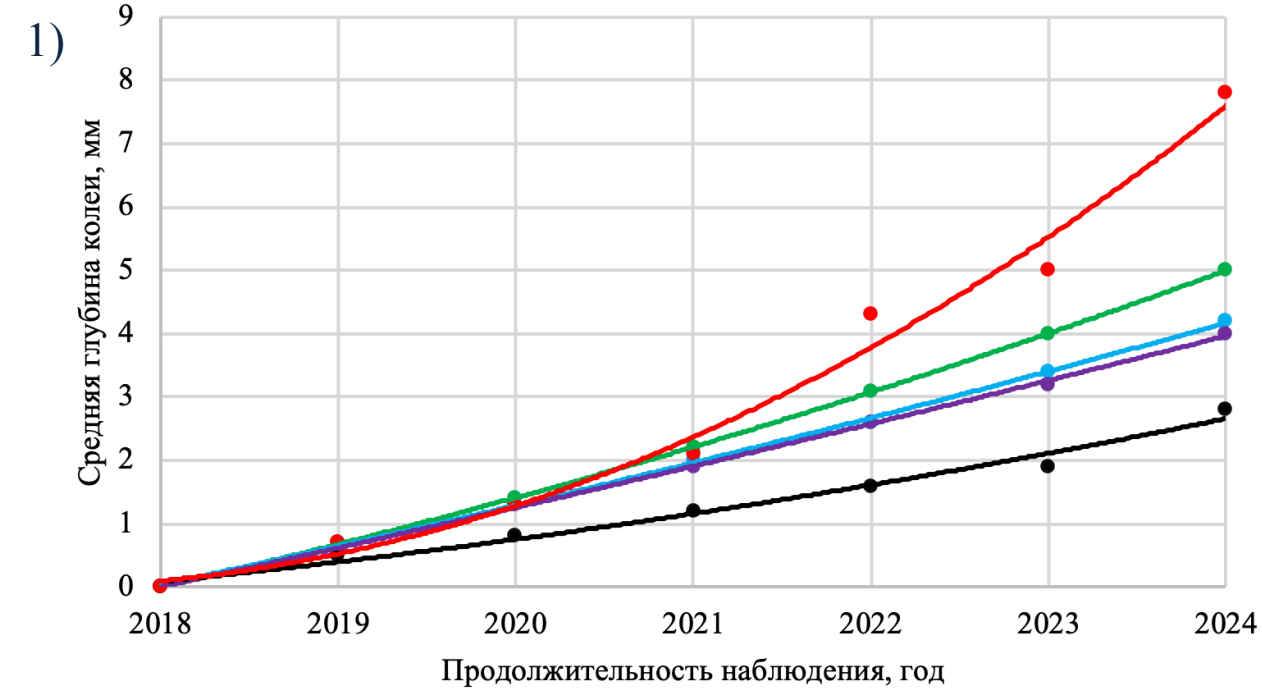
МОНИТОРИНГ



Определение дефектности покрытия



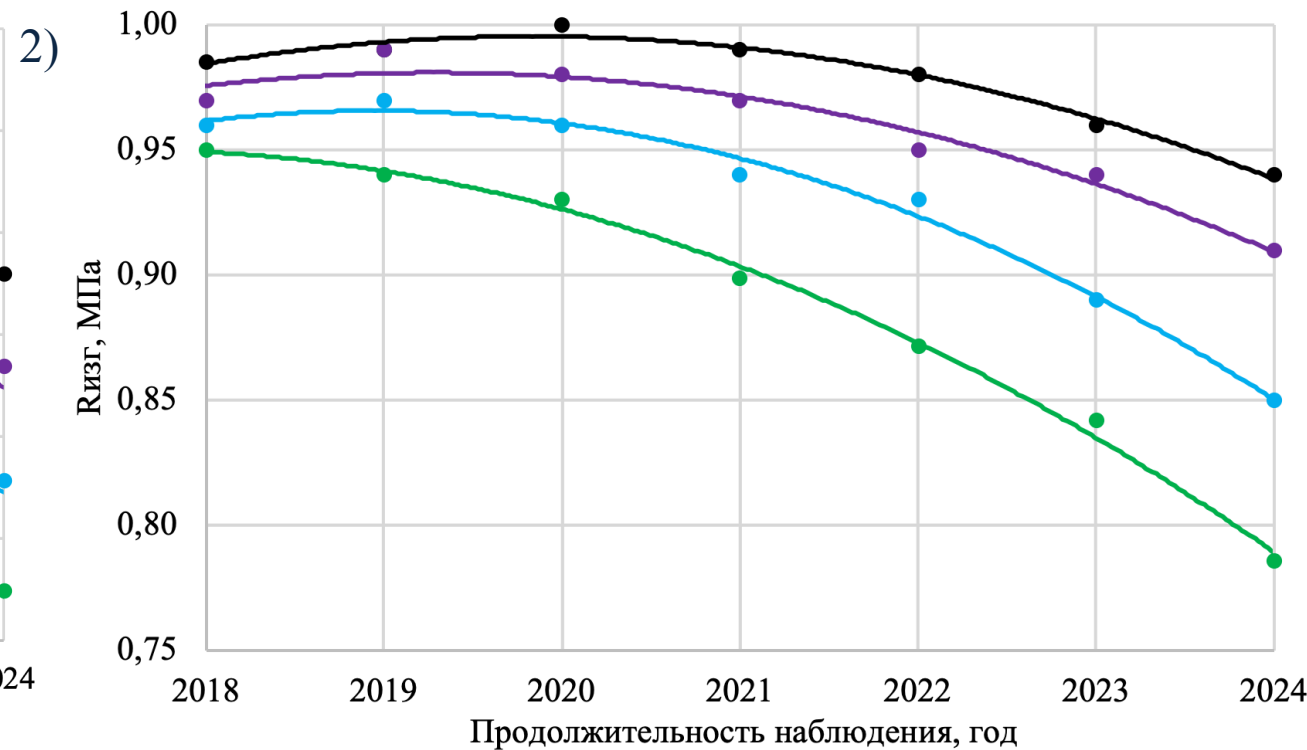
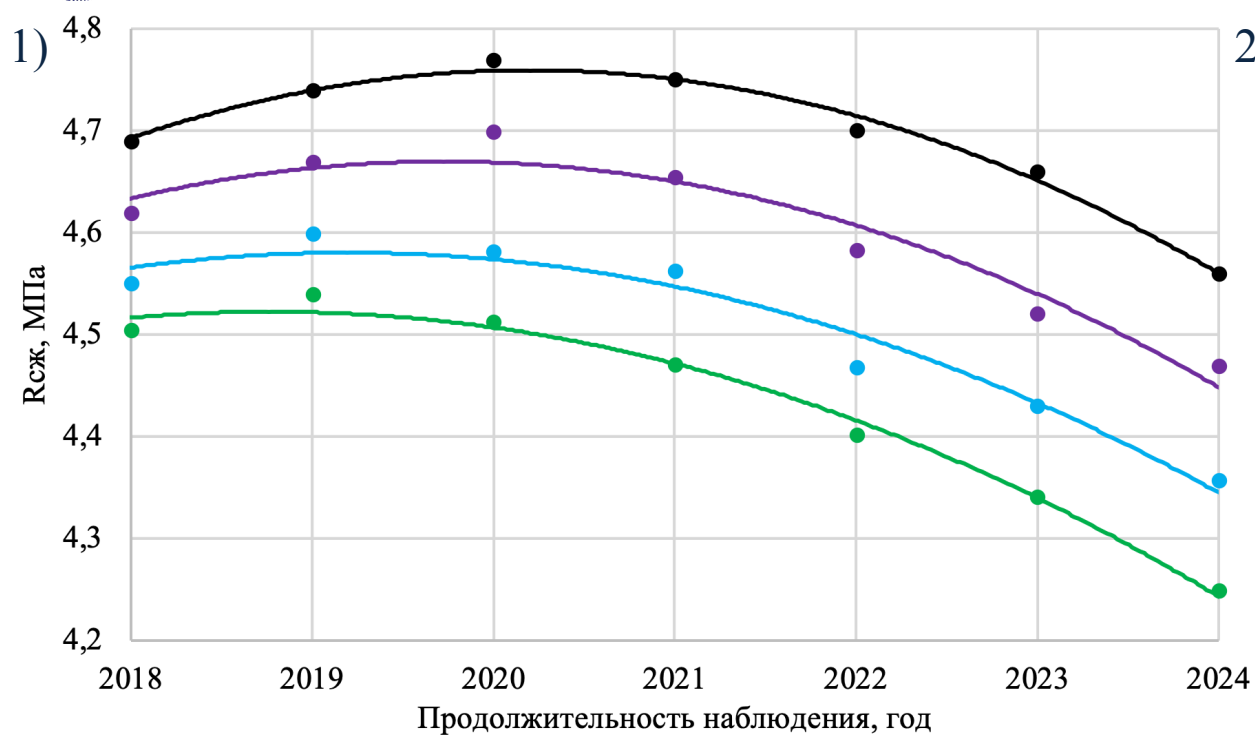
Определение модуля упругости



Зависимости эксплуатационных характеристик состояния автомобильной дороги по годам

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

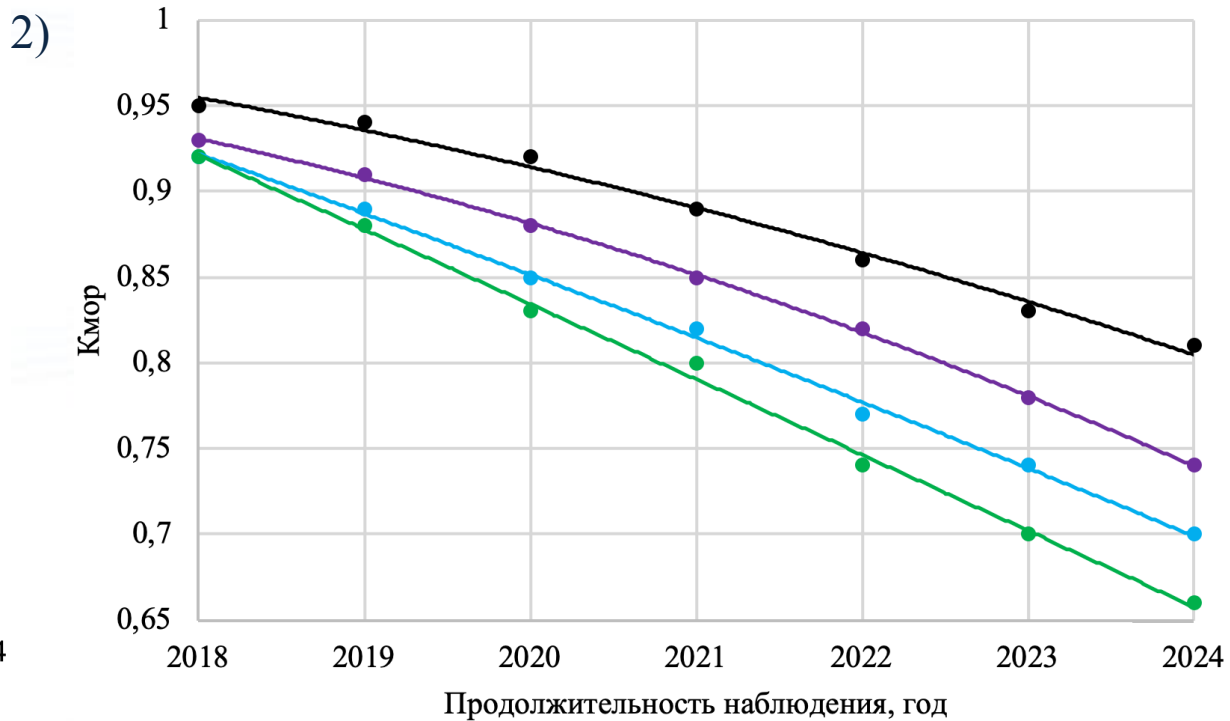
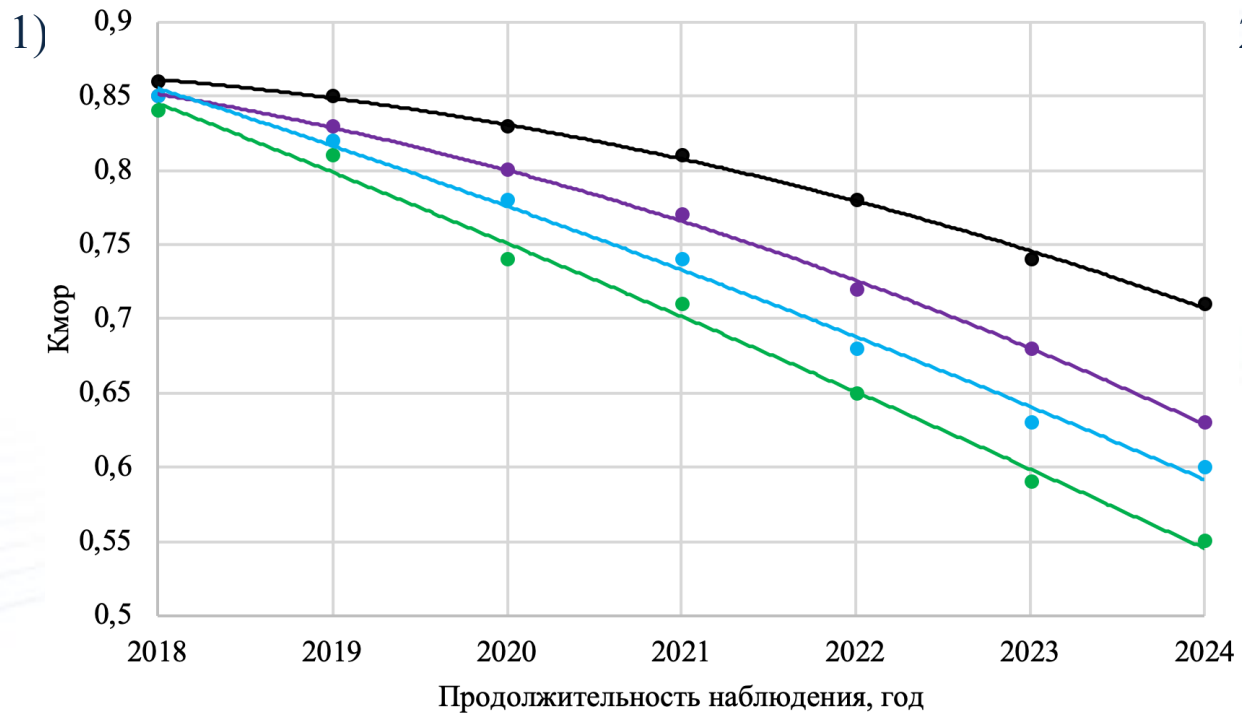
— - Участок 1; — - Участок 2; — - Участок 3; — - Участок 4; — - основания из комплексно-модифицированных цементогрунтов
 — - Участок 5 – основание из щебня и песка



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



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

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

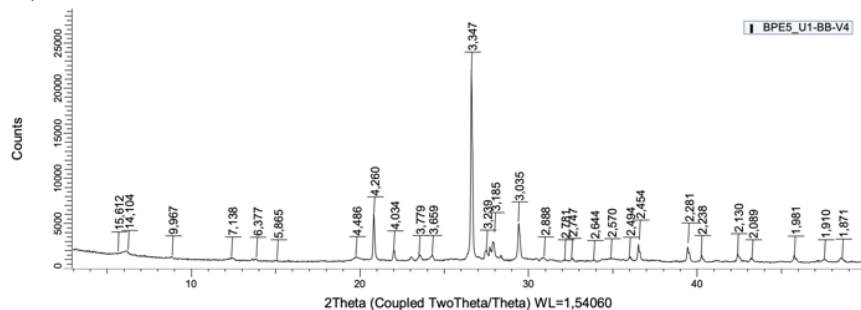
— - Участок 1; — - Участок 2; — - Участок 3; — - Участок 4; — - основания из комплексно-модифицированных цементогрунтов

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ С ВНЕДРЕНИЯ

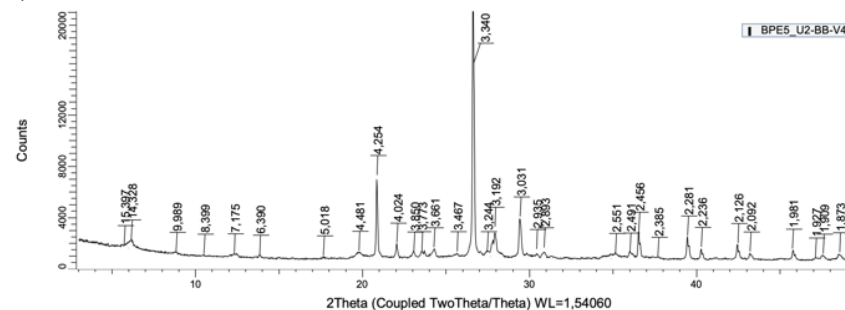
Показатели физико-механических испытаний	Участки автомобильной дороги					
	Участок 1 (комплексно-модифицированный цементогрунт)			Участок 2 (немодифицированный цементогрунт)		
	Образцы-вырубки	Лабораторные образцы	Требования ГОСТ 23558-94, не менее; (марка)	Образцы-вырубки	Лабораторные образцы	Требования ГОСТ 23558-94, не менее; (марка)
Предел прочности при сжатии, МПа	4.3	4.78	4.00; (M40)	2.16	2.49	2.00; (M20)
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	1.01	1.30	0.80; (M40)	0.41	0.55	0.40; (M20)
Коэффициент морозостойкости	0.77	0.81	0.75; (F15)	0.75	0.8	0.75; (F10)

РЕНТГЕНО-ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ С ВНЕДРЕНИЯ

1)



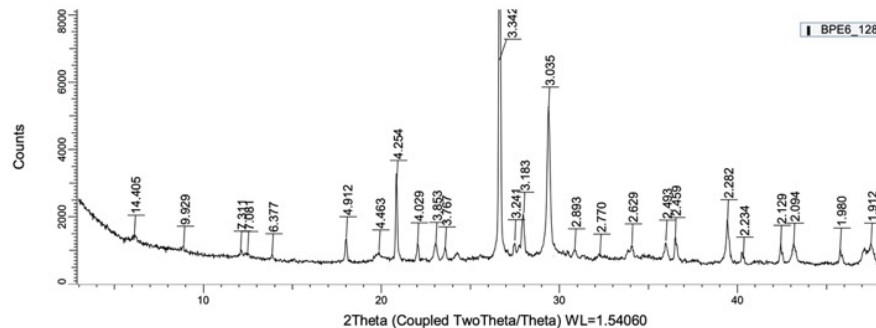
2)



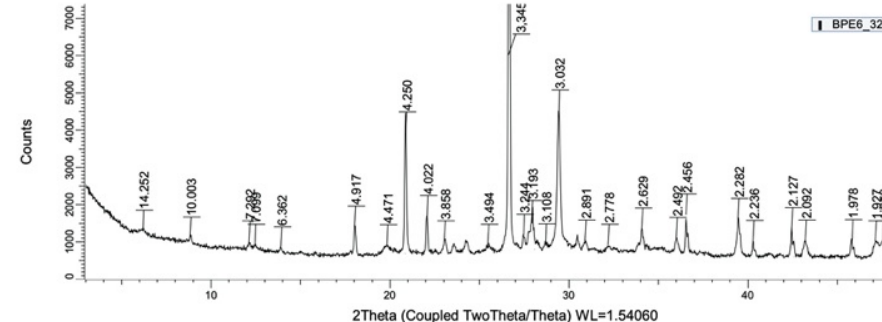
Дифрактограммы цементогрунтов из основания дорожных одежд

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

1)



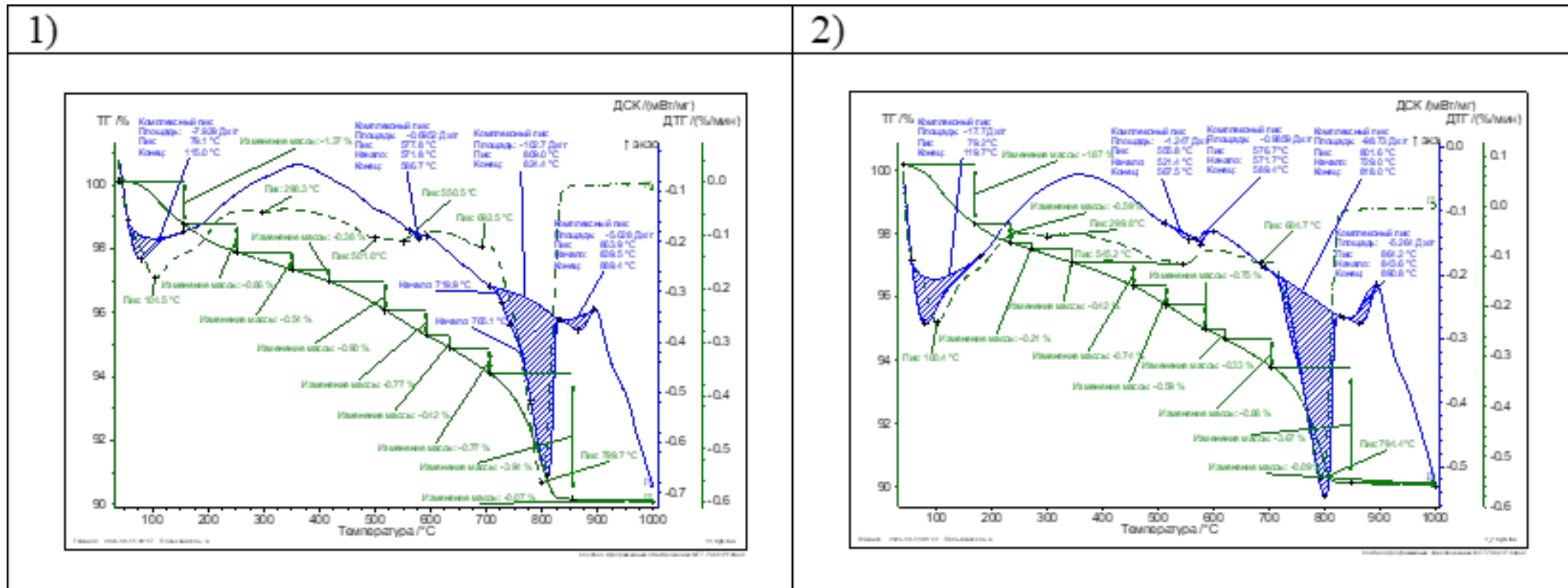
2)



Дифрактограммы лабораторных цементогрунтов

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

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ С ВНЕДРЕНИЯ

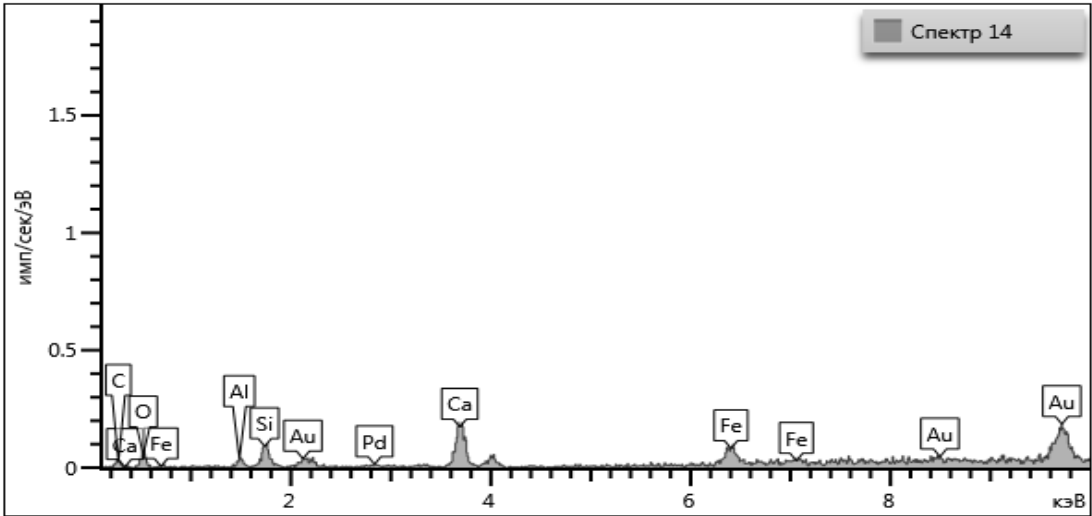


Дериватограммы цементогрунтов из основания дорожных одежд

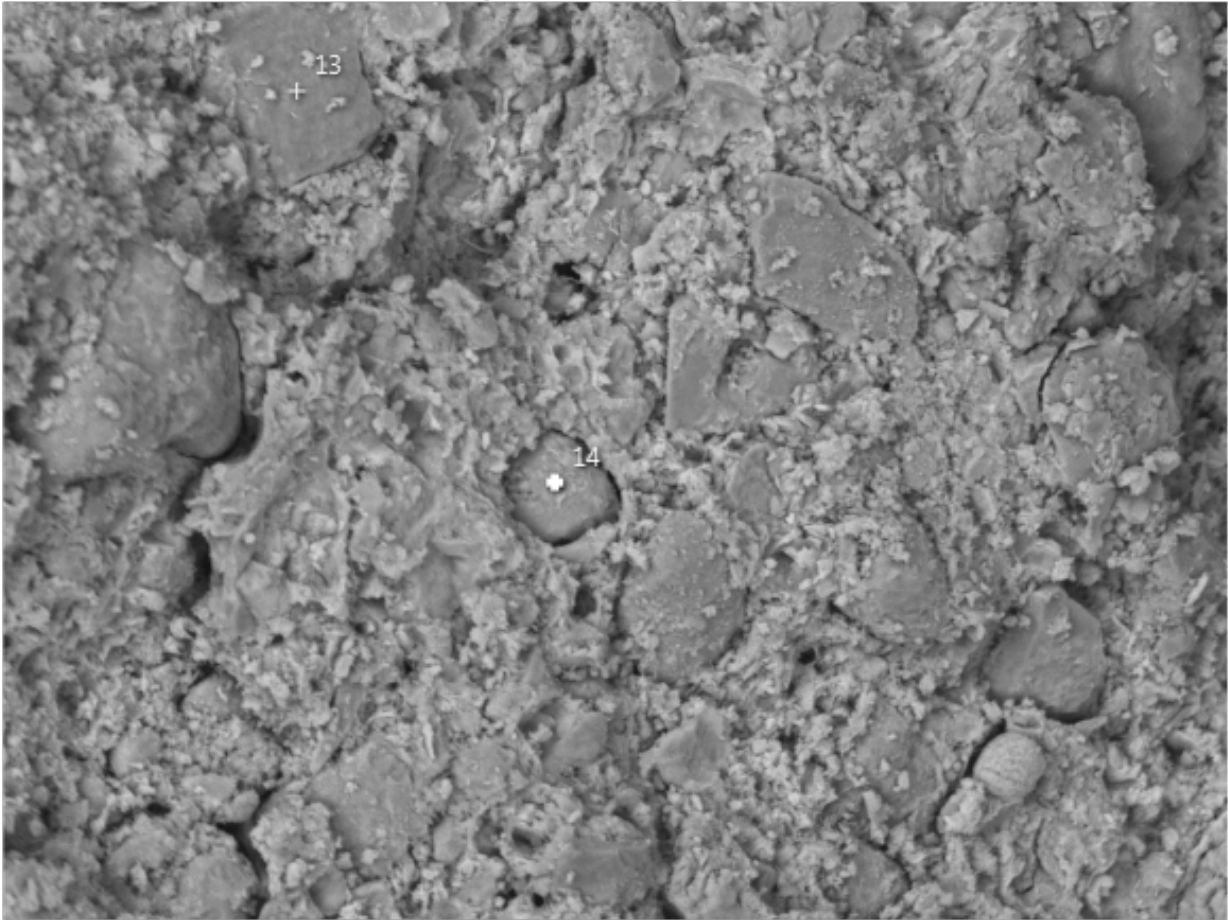
1 – комплексно-модифицированный цементогрунт;

2 – немодифицированный цементогрунт

Элемент	Вес. %	Атом. %	Название эталона
C	20.07	35.75	C Vit
O	28.62	38.28	SiO2
Al	2.55	2.02	Al2O3
Si	5.82	4.43	SiO2
Ca	20.32	10.85	Wollastonite
Fe	22.62	8.67	Fe
Сумма:	100.00	100.00	



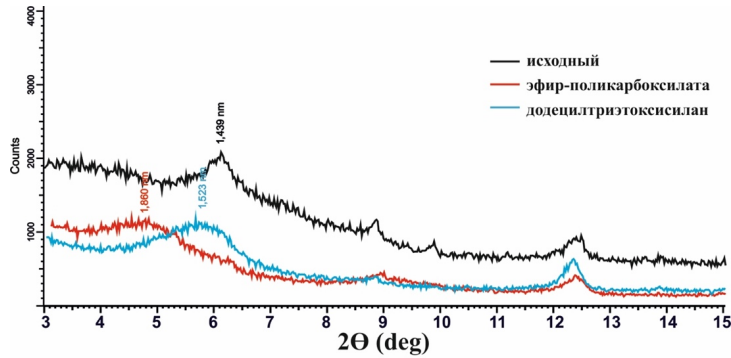
Электронное изображение 4



100µm

ПРОЦЕССЫ ИНТЕРКАЛИРОВАНИЯ И ХЕМОСОРБЦИИ В МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТОГРУНТАХ

1



2

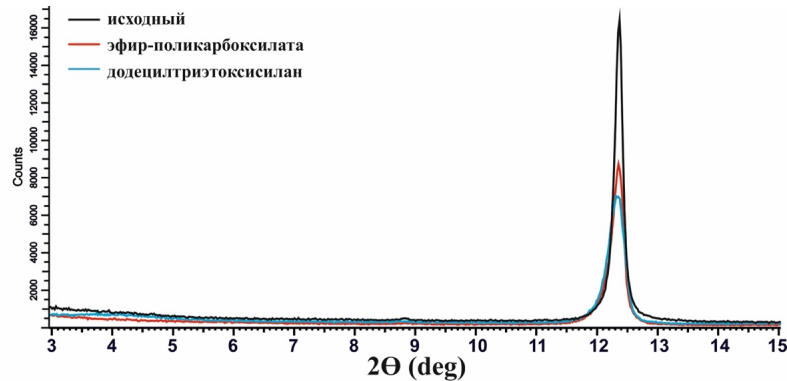
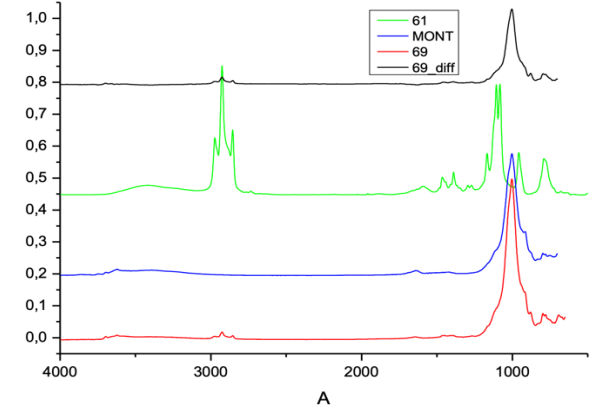
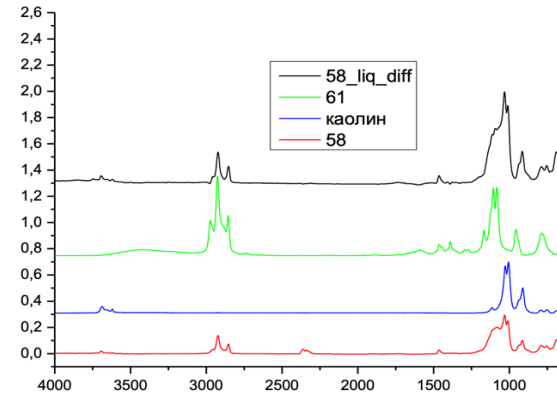
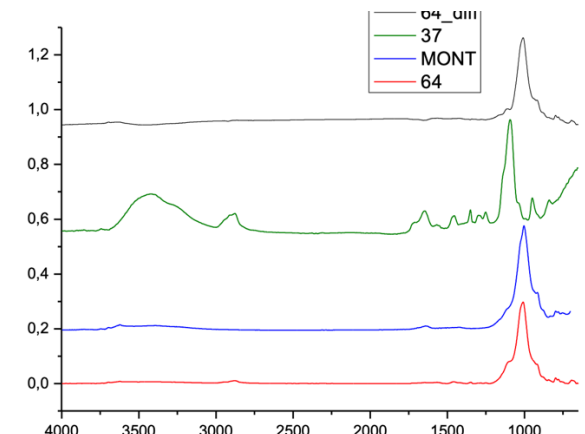
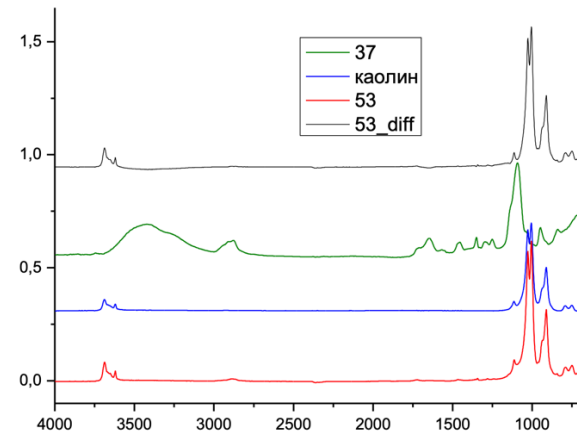


Рисунок 1 – Дифрактограммы исследуемых глин:
— не модифицированная глина; — глина, модифицированная эфиром поликарбоксилата; — глина, модифицированная додецилтриэтоксисиланом
1 – монтмориλλονитовая глина; 2 – каолининовая глина



1 – каолинит; монтмориλλονит

— — разностный спектр; — — додецилтриэтоксисилан; — — глина;
— — глина, модифицированная додецилтриэтоксисиланом



— — 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

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

Агрызский район

Вид грунта	Карьеры	Дорожная одежда		Толщины слоев	
		Конструкция	IV категория*	V категория**	В
1	2	3	4	5	6
Песок, средний крупности	Отсутствуют	1. Асфальтобетон плотный II марки типа Б, марка битума БНД-60/90	$B_{d0} = 5 \text{ см}$ $B_{d1} = 6 \text{ см}$ $B_{d2} = 29 \text{ см}$ $B_{d3} = 30 \text{ см}$	$B_{d0} = 4 \text{ см}$ $B_{d1} = 6 \text{ см}$ $B_{d2} = 16 \text{ см}$ $B_{d3} = 30 \text{ см}$	
		2. Асфальтобетон к/з пористый II марки, марка битума БНД-60/90			
		3. Укрепленный грунт, марка по прочности М60, морозостойкости F75			
		4. Песчано-гравийная смесь			

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
ГКУ «ГЛАВТАТДОТРАНС»
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АЛЬБОМ

ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ IV И V ТЕХНИЧЕСКОЙ КАТЕГОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

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 **2013-2024 г.г.**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

Комплексная модификация укреплённых грунтов при проектировании и строительстве автомобильных дорог

Вдовин Евгений Анатольевич

Проректор по научно-исследовательской деятельности

Заведующий кафедрой автомобильных дорог, мостов и тоннелей

Казанский государственный архитектурно-строительный университет