

УДК 625.731.82

UDC 625.731.82

**МОДИФИКАЦИЯ МЕСТНОГО  
ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ДЛЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА ОСНОВАНИЙ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ  
СЕВЕРА**

**MODIFICATION OF LOCAL CLAY RAW  
MATERIAL FOR CONSTRUCTION OF BASES  
OF HIGHWAYS IN THE CONDITIONS OF THE  
NORTH**

Андреева Айталиа Валентиновна  
м.н.с.

Andreeva Aitalina Valentinovna  
junior researcher

Буренина Ольга Николаевна  
к.т.н., в.н.с.  
*Институт проблем нефти и газа СО РАН,  
Якутск, Россия*

Burenina Olga Nikolaevna  
Cand.Tech.Sci., senior researcher  
*Institute of Oil and Gas problems of SB RAS,  
Yakutsk, Russia*

В статье представлены экспериментальные данные по исследованию физико-механических свойств модифицированных композиционных материалов для устройства оснований дорожной одежды в условиях Севера

In the article, the experimental data of the research of physical and mechanical properties of the modified composite materials for an arrangement of the bases of road clothes in conditions of the North are presented

Ключевые слова: МОДИФИЦИРОВАННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ, СТАБИЛИЗАТОРЫ, ВОДОНАСЫЩЕНИЕ, МОРОЗОСТОЙКОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ

Keywords: MODIFIED COMPOSITE MATERIAL, DESIGN OF ROAD CLOTHES, STABILIZERS, WATER-SATURATION, FROST RESISTANCE, STRENGTH AT COMPRESSION

Качество автомобильных дорог и их долговечность зависят от надежности оснований земляного полотна. Половина деформаций автомобильных дорог связано с плохим качеством оснований земляного полотна, особенно устраиваемых при неблагоприятных погодных и местных условиях. Высокая стоимость основания земляного полотна часто является следствием использования не местных, а подвозимых на большое расстояние грунтов и расходов на рекультивацию использованных месторождений. Использование местных, менее благоприятных, грунтов с применением минимального количества вяжущих материалов или добавок позволит обеспечить не только снижение стоимости, но и достичь необходимой пригодности и устойчивости грунта.

Применение укрепленных грунтов и других местных материалов в укрепленном виде в основаниях дорожных одежд является одной из наиболее реальных возможностей снижения стоимости строительства и

затрат ресурсов. Эти материалы не требуют дальних перевозок автомобильным транспортом и исключают надобность в перевозках таких материалов железнодорожным транспортом. Правильный подход к использованию полифилизаторов позволит увеличить объем применения укрепленных грунтов, повысив работоспособность материала в конструктивном слое дорожной одежды.

Основным сдерживающим фактором использования глинистых грунтов при строительстве автомобильных дорог является изменение их физико-механических свойств в худшую сторону при увлажнении – чрезмерное водопоглощение, набухание, пластичность и зависящие от этих свойств прочностные показатели. Поэтому проведение работ в направлении улучшения свойств местных глинистых грунтов является в настоящее время важным и значимым фактором.

В качестве объектов исследования были выбраны глинистое сырье месторождения Ой-Бесс Республики Саха (Якутия), полифилизаторы «ПГСЖ-1» - «Консолид 444» и «ПГСЖ-3» - «Солидрай».

В качестве основного сырья была использована глина месторождения Ой-Бесс Республики Саха (Якутия). Глины состоят из различных окислов, свободной и химически связанной воды и органических примесей. В перечень окислов, составляющих глины, входят: глинозем, кремнезем, окись железа, кальция, натрия, магния и окись калия. Важнейшими свойствами глин являются пластичность, отношение к сушке и к высокой температуре.

Это сырье обладает удовлетворительной формовочной способностью, средней пластичностью, а также характеризуется малой чувствительностью к сушке, малой воздушной и общей усадками. Данные гранулометрического анализа и химического состава глины приведены в табл.1.

Таблица 1 - Результаты гранулометрического анализа глины

Месторождение	Более 500 мкм	500-50 мкм	50-5 мкм	5-1 мкм	Менее 1 мкм
Ой –Бесское	-	31,4	-	51,9	16,7

Результаты гранулометрического анализа глин показали (табл.1), что в глинистом грунте имеется большое количество пылеватых частиц от 1 до 5 мкм, что обеспечивает заполнение промежутков между более крупными частицами и повышает связующую способность глинистого материала.

Результаты химического анализа (табл.2) глинистого сырья показывают, что глина Ой-Бесского месторождения относится к каолинит-гидрослюдистым группам глин. Наличие в составе глинистых грунтов каолинитовой группы со стабильной кристаллической решеткой и гидрофильностью создает удовлетворительную формовочную способность, среднюю пластичность, характеризует малую воздушную и общую усадки. Таким образом, глинистое сырье Ой-Бесского месторождения является пригодным для строительства автомобильных дорог.

Таблица 2 -Результаты химического анализа глины

Химический состав	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	FeO
%	55,6	0,73	14,40	3,79	0,008	3,50	4,24	2,27	2,8	-	0,11	1,93	1,86

В качестве полифлизаторов грунта использовали «ПГСЖ-1» - «Консолид 444» - это жидкость коричневого цвета с характерным

запахом, включающая аммониевые соединения 25-50 %, высшие жирные амины 10-25 %, азкоксилат менее 2,5 % и другие химические соединения, рН=4,5-5. Полностью смешивается с водой. «ПГСП-3» - «Солидрай» - представляет собой светло-желтый порошок, включающий стериламин 25-100%, диалкилефир триэтаноламмоний метилсульфата 25-100%, изопропанол 5-10%, а также другие сложные вещества с плотностью 0,858 г/см<sup>3</sup>, рН = 9-10, нерастворимо в холодной воде. Не изменяет свойства во времени и не распадается. Точка плавления 50-52<sup>0</sup>С, температура воспламенения более 170 <sup>0</sup>С.

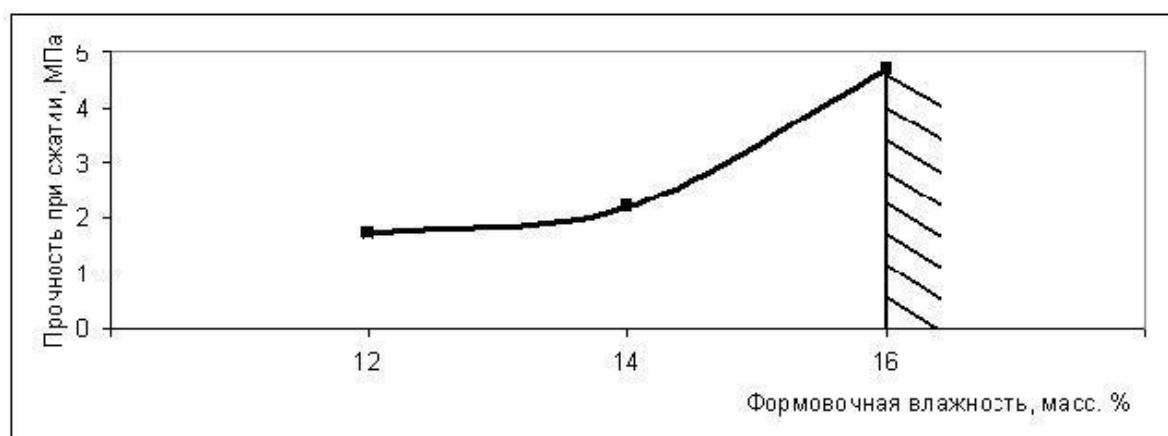
Изготовление и подготовка образцов к испытаниям состоит из нескольких этапов:

1. Навески глины и стабилизаторов взвешивали на технических лабораторных весах «ПетВес-2000».
2. Добавляли в глину необходимое количество минерального стабилизатора «Консолид» и тщательно перемешивали.
3. Добавляли необходимое количество воды и тщательно перемешивали до получения однородной массы.
4. В приготовленный состав добавляли ионный стабилизатор «Солидрай» и также тщательно перемешивали.
5. Приготовленную смесь засыпали в металлическую форму и прессовали на гидравлическом прессе ПК 02.00.000.
6. Полученные образцы в виде цилиндров диаметром и высотой 50 мм извлекали из формы и высушивали при комнатной температуре до достижения постоянной массы.

Для проведения исследований были изготовлены цилиндрические образцы диаметром и высотой 50 мм на технологическом оборудовании, разработанном в Институте неметаллических материалов СО РАН [1]. При

этом усилие прессования ( $P$ ) составляло 3 МПа [2], формовочная влажность ( $W$ ) – от 12 до 16 масс. %, содержание полифилизаторов «ПГСЖ-1» - «Консолид 444» - 0,05 масс. % и «ПГСП-3» - «Солидрай» от 1,2 до 2,4 масс. %. Продолжительность сушки – 28 суток. Было исследовано влияние технологических параметров на прочность при сжатии разрабатываемых материалов и определены их оптимальные значения.

При повышении формовочной влажности от 8 до 12 масс. % предел прочности при сжатии увеличивается линейно. При этом прочность при сжатии составляет, соответственно, от 1,72 до 4,69 МПа (рис.1).



**Рис. 1.** Зависимость предела прочности при сжатии от формовочной влажности

При увлажнении 16 масс. % глинистое сырье приобретает комкообразную форму в прессуемом образце, что снижает прочностные характеристики материала. Дальнейшее увлажнение образцов приводит к их разрушению. Прочность при сжатии образцов при формовочной влажности 16 масс. % составляет 4,69 МПа, что на 21,74 и 63,33 % выше, чем при влажности 14 масс. % и 12 масс. % соответственно. Таким образом, оптимальной формовочной влажностью выбрано 16 масс. %.

Для улучшения физико-механических показателей были проведены исследования по модификации грунтов стабилизаторами «Консолид» и «Солидрай».

Количество стабилизатора «Консолид» составляло 0,05 масс. %, «Солидрай» варьировалось от 1,2 до 2,4 масс. %, при формовочной влажности 12, 14, 16 масс. %. Усилие прессования при этом составляет 100 кгс/см<sup>2</sup>. Время выдерживания формы со смесью под нагрузкой составляет 3 мин. Продолжительность сушки – 28 суток.

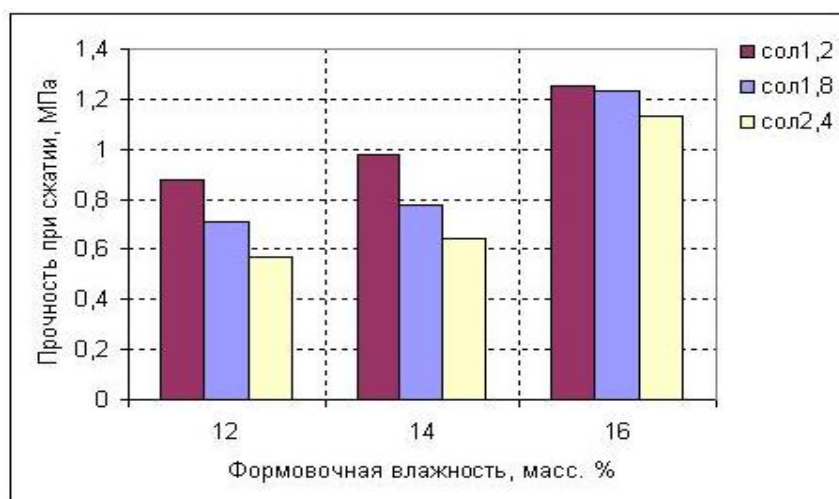
Дальнейшие исследования заключались в исследовании свойств образцов с использованием комплекса добавок для выбора оптимального состава с наилучшим показателем по прочности с исходной влажностью от 12 до 16 масс. %. Исследованиям были подвержены образцы следующего состава (табл.3).

Таблица 3 - Значение прочности при сжатии образцов для строительства верхних слоев оснований дорожных одежд автомобильных дорог

Содержание «Консолид», масс. %	Содержание «Солидрай», масс. %	Значение прочности при влажности, МПа		
		12	14	16
0,05	1,2	0,88	0,98	1,25
	1,8	0,71	0,78	1,23
	2,4	0,57	0,64	1,13

Анализ полученных результатов показывает, что прочность при сжатии образцов при увеличении количества вводимых добавок «Консолид» и «Солидрай» от 1,2 до 2,4 масс. % снижается в среднем на 26,53 %. При этом повышение формовочной влажности показывает увеличение прочности данных образцов в среднем на 40,69 %.

Зависимость предела прочности при сжатии от формовочной влажности представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Зависимость предела прочности при сжатии от формовочной влажности («ПГСЖ-1» – «Консолид 444» - 0,05 масс. %)

Таким образом, было выбрано оптимальное количество вводимой добавки «Солидрай» – 1,2 масс. %. Количество содержания добавки «Консолид» было выбрано по требованиям ТУ СТО 98983709-002-2010. Учитывая показатели ТУ для укрепленных грунтов – 0,7 МПа, экономически выгодно использовать образцы с добавкой «Солидрай» 1,2 масс. %.

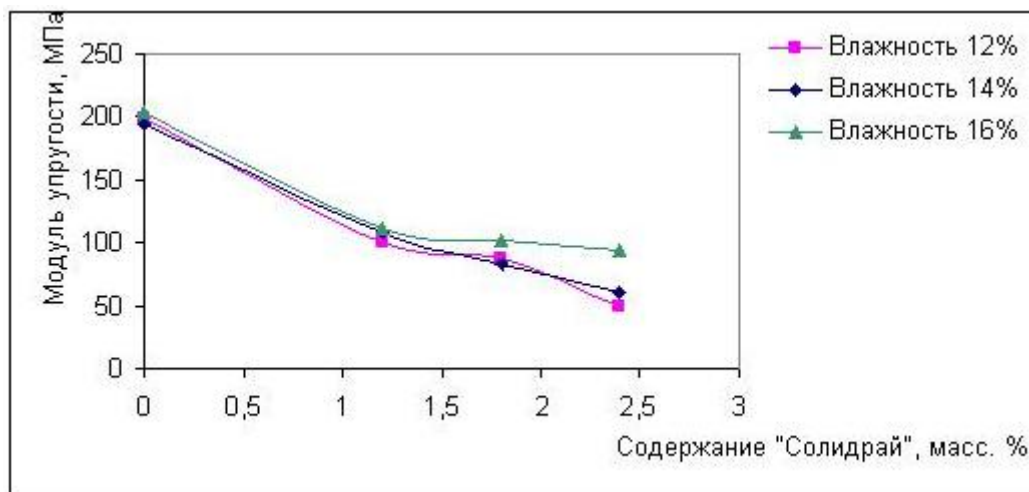
На основании проделанной работы можно сказать, что увеличение количества добавки «Солидрай» приводит к линейному снижению прочности образцов. С целью экономической эффективности и, учитывая показатели ТУ 0,7 МПа, выгодно использовать стабилизаторы в составе «Консолид» 0,05 масс. % и «Солидрай» 1,2 масс. %.

Для исследования модуля упругости были изготовлены образцы с составом: «Солидрай» - 1,2, 1,8 и 2,4 масс. %, «Консолид» - 0,05 масс. %, формовочная влажность – 12, 14, 16 масс. % (табл.4).

Таблица 4 - Значения модуля упругости при различном содержании «Солидрай»

Содержание «ПГСЖ 1» – «Консолид 444», масс. %	Содержание «ПГСЖ 3» – «Солидрай», масс. %	Значение модуля упругости при влажности, МПа		
		12	14	16
0,05	1,2	100,604	107,687	110,942
	1,8	87,859	82,546	102,565
	2,4	49,779	59,943	94,091

Из графика зависимости модуля упругости от содержания добавки (рис. 3) видно, что чем больше содержание «Солидрай», тем ниже модуль упругости, следовательно, тем легче деформируется материал.



**Рис. 3.** Зависимость модуля упругости от содержания «ПГСП 3»

Анализ проведенного эксперимента показал, что при увеличении стабилизатора от 1,2 масс. % до 2,4 масс. % значение модуля упругости снижается в среднем на 32 %, так же при этом наблюдается снижение предела прочности при сжатии на 26,53 %.

Таким образом, анализ проведенных экспериментов показал, что физико-механические свойства, такие как, прочность при сжатии, плотность, водонасыщение и морозостойкость зависят от количества вводимых добавок. Так как с любыми из приведенных выше составов, полученные смеси отвечают требованиям ТУ, в целях экономии нами был выбран материал с составом «Солидрай» 1,2 масс. %.

Для регионов холодного климата важны не только механические свойства материалов строительного назначения, но и такие показатели как, влаго- и морозостойкость. В связи с этим были проведены исследования по определению влагопоглощения и морозостойкости материалов оптимальной рецептуры.

Определение морозостойкости укрепленных грунтов проводили



согласно ГОСТ 10060.1 «Базовый метод определения морозостойкости».

Образцы насыщали в спокойной воде в течение 2х суток. В первые сутки образцы погружали в воду на 1/3 их высоты, а в следующие сутки полностью заливали водой. При этом замеры образцов снимали до и после водонасыщения.

Как видно из табл. 4 показатель прочности при сжатии сухих модифицированных образцов выше, чем значение, регламентируемое ТУ 5711-002-98983709-2010 «Грунтовые смеси, обработанные полифлизаторами «ПГСЖ 1», «ПГСП 3», «ПГСБ 2» для автодорожного и аэродромного строительства» на 22,2 %; прочность при сжатии водонасыщенных модифицированных образцов находится в пределах нормы ТУ. При этом исходные образцы при водонасыщении разрушаются полностью в течение 5 минут. Остаточная прочность при сжатии модифицированных образцов после 30 циклов замораживания-оттаивания составляет 1,61 МПа, что на 44 % выше значения прочности при сжатии исходных модифицированных образцов.

Таблица 4- Показатели предела прочности при сжатии опытных образцов

Показатели	Значения		
	по ТУ	исходных образцов	Модифициров-х образцов
Предел прочности при сжатии сухих образцов, МПа	0,7	1,3	0,9
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	0,6	0	0,65
Водонасыщение по объему, %	12	-	6,36
Морозостойкость, число циклов	30	-	30
Коэффициент морозостойкости	не менее 0,75	-	0,96
Остаточная прочность, МПа	-	-	1,61

Таким образом, установлено, что разработанные материалы обладают высокими показателями свойств и могут быть использованы для возведения конструктивных слоев дорожных одежд.

#### Литература

1. Попов С.Н., Степанов И.И., Черский И.Н. Оборудование для полусухого прессования мелкоштучных строительных материалов // Неметаллические материалы и конструкции для условий Севера. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1996. – С.81-87.
2. ТУ 5711-002-98983709-2010. «Грунтовые смеси, обработанные полифилизаторами «ПГСЖ 1», «ПГСП 3», «ПГСБ 2» для автодорожного и аэродромного строительства». – М.: ООО «МД СИСТЕМЫ», 2010. – 84 с.