

**О.В. Зубова, В.В. Силецкий, А.П. Козлов, К.В. Кузнецов**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ СМЕСЕЙ  
НА ОСНОВЕ ГРУНТОВ ЛЕСНОЙ ЗОНЫ  
И НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА  
С ДОБАВКАМИ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ**

*Введение.* Лесная промышленность является одной из самых старых отраслей хозяйства России. Россия занимает особое, уникальное положение. При площади около 1690 млн га на её территории находится пятая часть всех лесов мира и половина мировых хвойных лесов.

В последние десятилетия в связи с экономической ситуацией, сложившейся в нашей стране, основные фонды лесопромышленного комплекса находятся в состоянии значительного физического износа, также отмечается низкая рентабельность производства большинства лесопромышленных предприятий, что сдерживает дальнейшее развитие отрасли.

Одна из традиционно острых проблем лесопромышленного комплекса – проблема строительства, содержания и ремонта лесных дорог. Освоение лесных ресурсов сдерживается необходимостью крупных инвестиций в строительство лесовозных дорог. Уже достаточно длительное время заготовка древесины привязана к ранее построенным дорогам, и к настоящему времени эти запасы «доступных» лесов близки к истощению. Малым компаниям, преобладающим в лесной промышленности, капитальное дорожное строительство не по силам. Крупные компании имеют возможности для строительства новых дорог, но для них это не выгодно, так как дороги строятся на участках, находящихся в аренде, а не на правах собственности. Поэтому даже крупные корпорации с осторожностью подходят к осуществлению таких проектов. Это ведёт к тому, что основная часть лесозаготовок концентрируется в зоне освоенных лесов, вблизи существующих транспортных лесовозных магистралей и дорог общего пользования.

Решение основных задач лесной промышленности неразрывно связано с дальнейшим изучением и улучшением проектирования, строительст-

ва и эксплуатации лесовозных дорог, совершенствования земляного полотна и дорожной одежды, созданием новых экономически более доступных материалов для строительства дорог. Дороги необходимо строить высококачественно, быстро, надежно и экономично. Необходимо расширять научные разработки для получения эффективных практических результатов по созданию новых дорожно-строительных материалов.<sup>1</sup>

С середины прошлого века активно ведутся исследования по использованию отходов промышленного производства, в том числе был проведен ряд исследований по использованию в дорожном строительстве нефелинового шлама. Нефелиновый шлам является промежуточным продуктом гидрохимической переработки нефелинового концентрата для последующего производства цемента.

Эффективность использования нефелинового шлама в строительстве дорог подтверждена полученными ранее высокими результатами для аналогичных шламов Ачинского глинозёмного комбината на основании широкомасштабных обследований автодорог, построенных с применением нефелиновых и бокситовых шламов более 20–30 лет назад. По данным ООО «Омский СоюзДорНИИ» в процессе эксплуатации шламовые и шламощебёночные слои оснований дорожных одежд без видимых повреждений переходят из разряда оснований нежестких дорожных одежд, в том числе в составе переходных покрытий, в конструктивные слои полужестких и жестких трещиностойких дорожных одежд. При этом приобретают способность выдерживать сверхнормативные нагрузки, обеспечивая одновременно возможность устройства однослойных асфальтобетонных покрытий или слоёв износа. За годичный срок эксплуатации основания в качестве переходного покрытия на его поверхности не было обнаружено серьезных повреждений, что позволяет официально увеличить межремонтный срок в 1,5–3,0 раза. Таким образом, нефелиновый шлам обладает большой микропористостью, что придает укатанному шламу исключительные свойства по деформативности и трещиностойкости, а также теплоизолирующие свойства.

Основания из материалов, укрепленных вяжущим, не только прочны и долговечны, но и экономичны, поскольку дают возможность использовать

---

<sup>1</sup> *Тюрин Н.А., Бессараб Г.А., Язов В.Н. Дорожно-строительные материалы и машины: учебник. М.: Изд. центр «Академия» 2009. 528 р.*

местные грунты, некондиционные каменные материалы и промышленные отходы как замену дорогостоящим привозным материалам.

В основном до настоящего времени нефелиновый шлам исследовался как самостоятельный материал или в смеси (НФШ/щебень), в существующих работах рассматривались расчетные нагрузки для интенсивности движения дорог общего пользования. Использование нефелинового шлама с грунтом недостаточно исследовано, при этом больше внимания уделяется укреплению НФШ песчаными грунтами, в то время как основные грунты лесной зоны в Северо-Западном регионе – суглинистые. Экономически более целесообразно использовать НФШ для лесных дорог в смеси с грунтами для того, чтобы уменьшить объем привозимого материала. В нашей работе принято решение провести сравнительное исследование применения НФШ как компонента для комплексного укрепления различных видов грунтов для создания прочных и экономичных дорожных одежд лесных дорог.

В результате предварительных поисковых исследований было установлено, что нефелиновый шлам является медленно твердеющим вяжущим, поэтому было принято решение активировать химические процессы твердения НФШ, используя добавку портландцемента марки М-400.

#### *Цель и задачи исследования.*

Цель исследования – получение прочного и экономичного дорожно-строительного материала на основе грунтов лесной зоны, укрепленных нефелиновым шламом и цементом.

Задачи исследования:

1. Поиск оптимальных дозировок вяжущих.
2. Определение характеристик прочности полученного материала.
3. Сравнительный анализ эффективности применения нефелинового шлама в смеси с наиболее распространенными грунтами лесной зоны Северо-Запада.

#### **Характеристика исходных материалов**

*Нефелиновый шлам* – шламообразный отход, образующийся при производстве глинозема, содержащий  $80\text{--}85\% \text{ 2CaO} - \text{SiO}_2 - x\text{H}_2\text{O}$  и  $2\text{CaO} - \text{SiO}_2$ ; остальное количество массы – гидраты глинозема, железа, сульфаты натрия и калия, комплексные гидраты. Нефелиновый шлам содержит около 80% белита или двухкальциевого силиката.

*Портландцемент марки М-400.* Портландцемент – это гидравлическое вяжущее вещество, в составе которого преобладают силикаты кальция (70–80%). Состав: входящие в смесь компоненты образуют структуру, которая на 95–98% состоит из минеральных элементов. Все они находятся в твердом агрегатном состоянии. Насыпное значение плотности составляет около 1100–1200 кг/м<sup>3</sup>. Установленная производителем прочность на 95–98% достигается по истечении 28–30 дней.

*Песок* – это несвязный хорошо дренирующий грунт, широко используемый в строительстве дорог. Песчаные грунты сложены угловатыми и окатанными обломками минералов, размером от 2 до 0,005 мм (мелкозернистые пески имеют размеры 0,1–0,25 мм).

*Суглинок легкий* – представляет собой силикат, содержащий глинозем, кремнезем, примеси песка, извести, окиси железа и др., а также химически связанную воду. Суглинок содержит 12–18% частиц диаметром менее 0,005 мм.

#### *Методика исследования.*

Условия проведения эксперимента:

- давление при формировании образцов 100 МПа;
- хранение образцов в воздушно-влажных условиях в эксикаторе в течение 28 суток;
- водонасыщение в воде в течение 48 часов;
- испытание образцов с определением предела прочности при сжатии  $R_{сж}$ , модуля упругости  $E_{упр}$ , водопоглощения  $W_p$ .

Дозировка компонентов смеси:

- нефелиновый шлам масс. – 40, 60, 80, 100%;
- цемент марка М400 масс. – 2, 4, 6%;
- грунт – масс. – 60, 40, 20%.

Испытания образцов выполнены в дорожно-испытательной лаборатории кафедры промышленного транспорта института ТМ и ТЛ СПбГЛТУ им. С.М. Кирова.

**Результаты исследования смеси песка, обработанного шламоцементом.** Исследование смеси песка, обработанного НФС в количестве 40, 60, 80 и 100% по массе, и цемента в количестве 2, 4 и 6% по массе, на образцах при хранении их в воздушно-влажных условиях с последующим замачиванием до момента испытания.

Результаты испытаний приведены в табл. 1 и на графиках 1–4.

Таблица 1

**Исследование физико-механических свойств образцов нефелинового шлама  
в смеси с песком и цементом**

**Investigation of physical and mechanical properties of samples  
of nepheline sludge mixed with sand and cement**

№ образца	Состав смеси, %			Водопоглощение, % $W_{вп}$	Модуль упругости, МПа $E_{упр}$	Предел прочности при сжатии, МПа $R_{сж}$
	песок	НФШ	цемент			
C1	60	40	2		38,9	0,8
C2	60	40	2	2,0%	83,18	0,6
C3	60	40	4		110,8	1,5
C4	60	40	4	1,8%	115,3	1,75
C5	60	40	6		88,7	3,2
C6	60	40	6	2,4%	90,72	2,7
C7	40	60	2		90,5	1,15
C8	40	60	2	4,5%	85	0,9
C9	40	60	4		126,9	2
C10	40	60	4	3,8%	117	2,2
C11	40	60	6		110,91	4,3
C12	40	60	6	2,3%	110,15	4
C13	20	80	2		100,3	2,40
C14	20	80	2	2,6%	90	2
C15	20	80	4		132,9	4,3
C16	20	80	4	1,4%	121,8	4,1
C17	20	80	6		114,7	7
C18	0	80	6	4,6%	112,95	5,9
C19	0	100	2		100,9	5,9
C20	0	100	2	3,7%	95,4	3,5
C21	0	100	4		140,4	7,5
C22	0	100	4	4,6%	125	6,5
C23	0	100	6		117	10,5
C24	0	100	6	5,7%	119	10

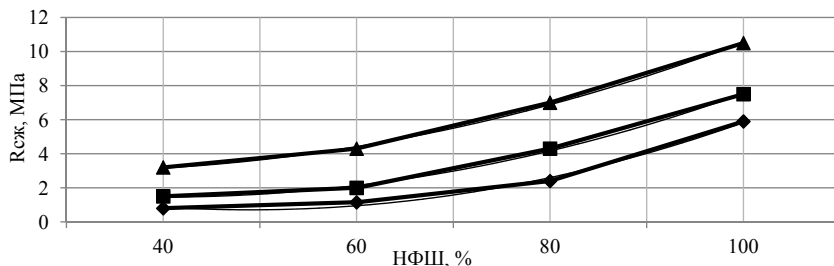


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии воздушно-сухих образцов смеси песка и вяжущих от дозировки НФС и цемента:

(◆) – дозировка цемента 2%; (■) – дозировка цемента 4%; (▲) – дозировка цемента 6%; (—) – полиномиальная (дозировка цемента 2%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 4%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 6%)

Fig. 1. Dependence of the compressive strength of air-dry sand mixture samples and binders on the dosage of NFS and cement

Уравнение регрессии при дозировке цемента 2% имеет вид:

$$y = 0,7875x^2 - 2,2825x + 2,3625; R^2 = 0,9944.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:

$$y = 0,675x^2 - 1,345x + 2,125; R^2 = 0,9982.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:

$$y = 0,6x^2 - 0,54x + 3,1; R^2 = 0,999.$$

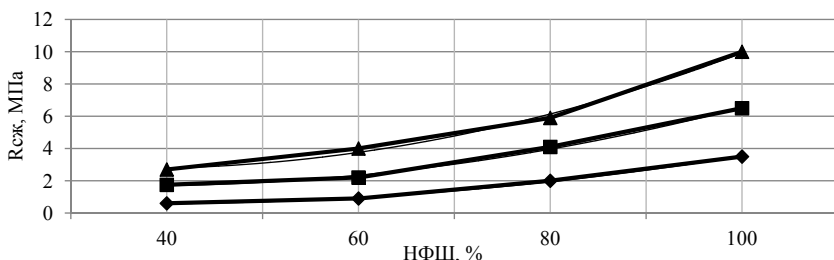


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов смеси песка и вяжущих от дозировки НФС и дозировок цемента:

(◆) – дозировка цемента 2%; (■) – дозировка цемента 4%; (▲) – дозировка цемента 6%; (—) – полиномиальная (дозировка цемента 2%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 4%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 6%)

Fig. 2. The dependence of the limit of compressive strength water-saturated samples of a mixture of sand and binders, the dosage NFS and dosage of cement

Уравнение регрессии при дозировке цемента 2% имеет вид:

$$y = 0,3x^2 - 0,52x + 0,8; R^2 = 0,9985.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:

$$y = 0,4875x^2 - 0,8225x + 2,0375; R^2 = 0,9968.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:

$$y = 0,7x^2 - 1,12x + 3,2; R^2 = 0,9958.$$

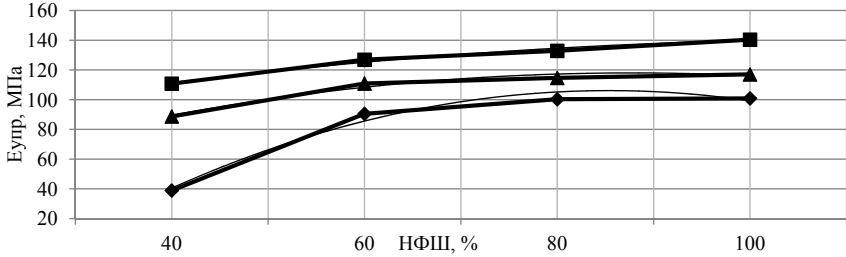


Рис. 3. Зависимость модуля упругости воздушно-сухих образцов смеси песка и вяжущих от дозировки НФС и дозировок цемента:

(◆) – дозировка цемента 2%; (■) – дозировка цемента 4%; (▲) – дозировка цемента 6%; (—) – полиномиальная (дозировка цемента 2%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 4%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 6%)

Fig. 3. Dependence of the modulus of elasticity of air-dry samples of sand mixture and binders on the dosage of NFS and cement dosages

Уравнение регрессии при дозировке цемента 2% имеет вид:

$$y = -12,75x^2 + 83,33x - 30,05; R^2 = 0,9797.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:

$$y = -2,15x^2 + 20,23x + 93,3; R^2 = 0,9858.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:

$$y = -4,9775x^2 + 33,756x + 60,768; R^2 = 0,9717.$$

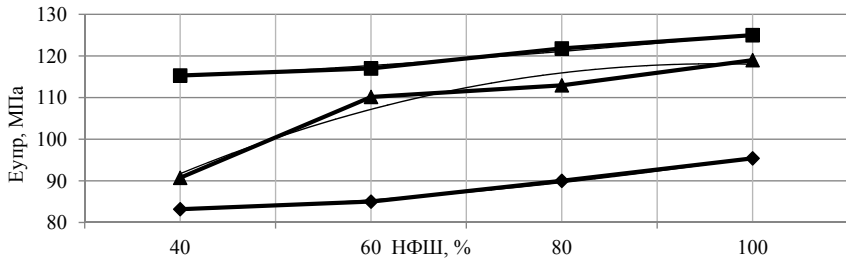


Рис. 4. Зависимость модуля упругости водонасыщенных образцов смеси песка и вяжущих от дозировки НФС и дозировок цемента:

(◆) – дозировка цемента 2%; (■) – дозировка цемента 4%; (▲) – дозировка цемента 6%; (—) – полиномиальная (дозировка цемента 2%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 4%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 6%)

Fig. 4. Dependence of the modulus of elasticity of water-saturated samples of sand mixture and binders on the dosage of NFS and cement dosages

Уравнение регрессии при дозировке цемента 2% имеет вид:

$$y = 0,895x^2 - 0,309x + 82,455; R^2 = 0,9957.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:

$$y = 0,375x^2 + 1,515x + 113,18; R^2 = 0,9813.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:

$$y = -3,345x^2 + 25,489x + 69,57; R^2 = 0,9559.$$

**Анализы исследования физико-механических свойств образцов нефелинового шлама в смеси с песком и цементом:**

1. На графиках 1–2 представлены зависимости предела прочности при сжатии воздушно-сухих и водонасыщенных образцов от дозировки НФШ и дозировок цемента. Полученный материал обладает прочностью от 2 до 10,5 МПа, при дозировках НФШ 60–100% и дозировках цемента 4–6% материал соответствует маркам М20–М100 по ГОСТ 23558–94.<sup>2</sup>

2. На графиках 3–4 анализ зависимости модуля упругости воздушно-сухих и водонасыщенных образцов от дозировки НФШ и дозировок цемента показывает, что модуль упругости образцов составляет от 90 до 140 МПа, при дозировке НФШ 40–100% и дозировке цемента 4–6%.

3. Водопоглощение материала находится в пределах 2–6%, что соответствует требованиям ГОСТ 23558–94.

**Результаты исследования смеси суглинка, обработанного шламоцементом.** Исследование смеси переувлажненного суглинка, обработанного шламоцементом в дозировках, представленных в таблице, на образцах при хранении их в воздушно-влажных условиях с последующим замачиванием до момента испытания.

Результаты испытаний приведены на рис. 5–8 и таблице

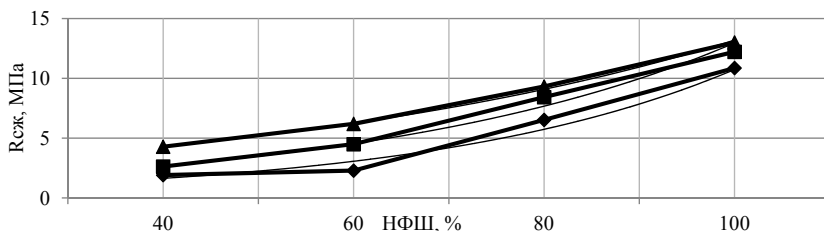


Рис. 5. Зависимость предела прочности при сжатии воздушно-сухих образцов смеси суглинка и вяжущих от дозировки НФШ и цемента:

(—◆—) – дозировка цемента 2%; (—■—) – дозировка цемента 4%; (—▲—) – дозировка цемента 6%; (—) – полиномиальная (дозировка цемента 2%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 4%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 6%)

Fig. 5. Dependence of the compressive strength of air-dry samples of the mixture of loam and binders on the dosage of NFSH and cement

Уравнение регрессии при дозировке цемента 2% имеет вид:

$$y = 0,8767e^{0,6265x}; R^2 = 0,9399.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:

$$y = 1,596e^{0,5236x}; R^2 = 0,9907.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:

$$y = 2,9615e^{0,3736x}; R^2 = 0,9986.$$

<sup>2</sup> ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами для дорожного и аэродромно-строительства. Технические условия.



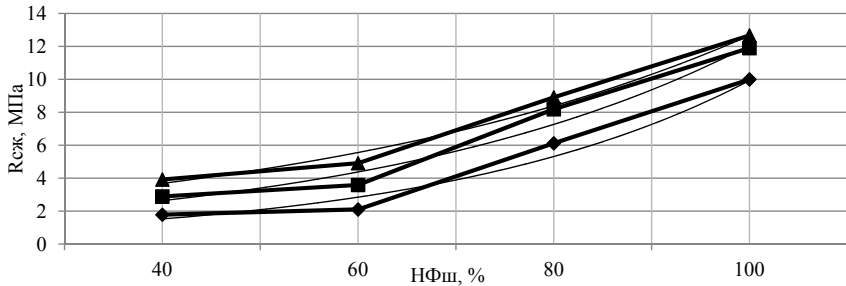


Рис. 6. Зависимость предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов смеси суглинка и вяжущих от дозировки НФШ и дозировок цемента:

(—◆—) – дозировка цемента 2%; (—■—) – дозировка цемента 4%; (—▲—) – дозировка цемента 6%; (—) – полиномиальная (дозировка цемента 2%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 4%); (—) – полиномиальная (дозировка цемента 6%)

Fig. 6. Dependence of the compressive strength of water-saturated samples of the mixture of loam and binders on the dosage of NFS and cement dosages

Уравнение регрессии при дозировке цемента 2% имеет вид:

$$y = 0,8157e^{0,6248x}; R^2 = 0,9346.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:

$$y = 1,5873e^{0,5071x}; R^2 = 0,9538.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:

$$y = 2,4403e^{0,4115x}; R^2 = 0,9737.$$

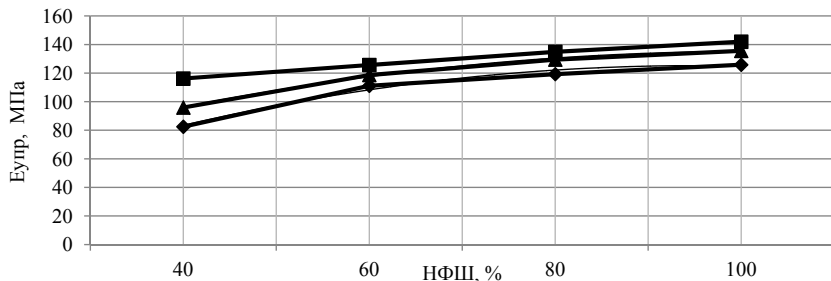


Рис. 7. Зависимость модуля упругости воздушно-сухих образцов смеси суглинка и вяжущих от дозировки НФШ и дозировок цемента:

(—◆—) – дозировка цемента 2%; (—■—) – дозировка цемента 4%; (—▲—) – дозировка цемента 6%; (—) – полиномиальная (дозировка цемента 2%)

Fig. 7. Dependence of modulus of elasticity of air-dry samples of mixture of loam and binders on dosage of NFS and dosages of cement

Уравнение регрессии при дозировке цемента 2% имеет вид:

$$y = -5,525x^2 + 41,457x + 47,465; R^2 = 0,9836.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:

$$y = -4,1575x^2 + 33,772x + 66,633; R^2 = 0,997.$$

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:

$$y = -0,5975x^2 + 11,646x + 105,05; R^2 = 0,9995.$$

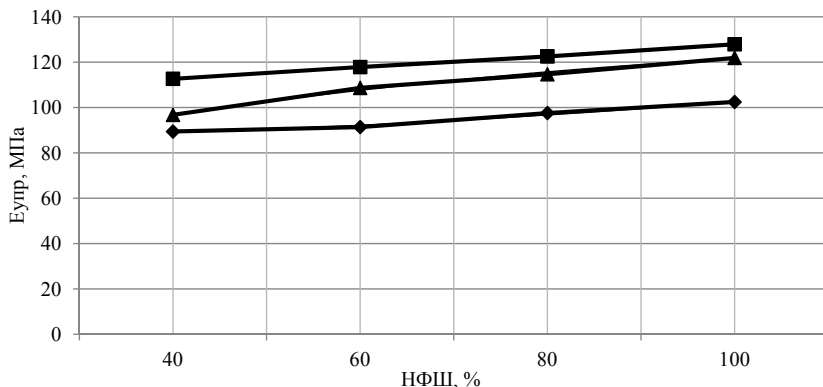


Рис. 8. Зависимость модуля упругости водонасыщенных образцов смеси суглинка и вяжущих от дозировки НФШ и дозировок цемента:

(—◆—) – дозировка цемента 2%; (—■—) – дозировка цемента 4%;  
 (—▲—) – дозировка цемента 6%; (—) – полиномиальная (дозировка цемента 2%)

Fig. 8. Dependence of the modulus of elasticity of water-saturated samples of mixture of loam and binders on the dosage of NFS and dosages of cement

Уравнение регрессии при дозировке цемента 2% имеет вид:  
 $y = 0,7325x^2 + 0,8685x + 87,533$ ;  $R^2 = 0,9856$ .

Уравнение регрессии при дозировке цемента 4% имеет вид:  
 $y = -1,17x^2 + 13,986x + 84,31$ ;  $R^2 = 0,9925$ .

Уравнение регрессии при дозировке цемента 6% имеет вид:  
 $y = 0,035x^2 + 4,859x + 107,84$ ;  $R^2 = 0,9995$ .

### Анализ исследования физико-механических свойств образцов нефелинового шлама в смеси с суглинком и цементом:

1. На графиках 5–6 представлены зависимости предела прочности при сжатии воздушно-сухих и водонасыщенных образцов от дозировки НФШ и дозировок цемента. Полученный материал обладает прочностью от 3 до 12 МПа, при дозировках НФШ 60–100% и дозировках цемента 4–6% материал соответствует маркам М20–М100 по ГОСТ 23558–94.

2. На графиках 7–8 анализ зависимости модуля упругости воздушно-сухих и водонасыщенных образцов от дозировки НФШ и дозировок цемента показывает, что модуль упругости образцов составляет от 80 до 120 МПа, при дозировке НФШ 40–100% и дозировке цемента 4–6%.

3. Водопоглощение материала находится в пределах 0,8–2%, что соответствует требованиям.

Таблица 2

**Исследование физико-механических свойств образцов нефелинового шлама  
в смеси с суглинком и цементом**

**Investigation of physical and mechanical properties of samples  
of nepheline sludge mixed with loam and cement**

№ образца	Дозировка грунта и вяжущих, %			Водопо- глощение, % $W_{вп}$	Модуль упругости, МПа $E_{упр}$	Предел прочно- сти при сжатии, МПа $R_{сж}$
	суглинок	НФШ	цемент			
1	60	40	2		82,45	1,91
2	60	40	2	1,83	89,41	1,78
3	60	40	4		116,19	2,63
4	60	40	4	1,63	112,67	2,89
5	60	40	6		95,88	4,29
6	60	40	6	1,19	96,77	3,92
7	40	60	2		111,12	2,29
8	40	60	2	1,55	91,373	2,1
9	40	60	4		125,67	3,81
10	40	60	4	1,42	117,87	3,59
11	40	60	6		118,65	5,27
12	40	60	6	1,15	108,67	4,91
13	20	80	2		119,27	6,53
14	20	80	2	1,32	97,56	6,12
15	20	80	4		134,89	8,43
16	20	80	4	1,26	122,9	8,19
17	20	80	6		129,43	9,32
18	20	80	6	1,09	114,67	8,91
19	0	100	2		125,84	10,87
20	0	100	2	0,95	102,45	10
21	0	100	4		141,98	12,22
22	0	100	4	0,85	127,89	11,9
23	0	100	6		135,57	13,01
24	0	100	6	0,8	121,89	12,67

### *Выводы*

1. Количество нефелинового шлама в смеси влияет на прочность и долговечность конструкции, из этого следует, что оптимальные дозировки нефелинового шлама и цемента в смеси должны обосновываться экономическими показателями.

2. Результаты исследования смесей НФШ и цемента показывают, что полученные материалы относятся к маркам прочности от М20 до М90 с пределом прочности при сжатии образцов смеси с песком от 2 до 7 МПа, образцов смеси с суглинком – от 2 до 9 МПа. Модуль упругости составляет 80–120 МПа для песка и суглинка, водопоглощение составляет 2–6% для песка, 1–2% для суглинка.

3. Исследования смесей с суглинком, песком и нефелиновым шламом позволили получать материал, соответствующий требованиям ГОСТ 23558–94.

4. Выполненные исследования показали, что нефелиновый шлам может успешно использоваться при укреплении различных видов грунтов лесной зоны Северо-Запада.

### **Библиографический список**

*Зубова О.В., Бессараб Г.А., Суворова Н.А.* Экологические аспекты применения в лесном дорожном строительстве зологрунтовых смесей, обработанных вяжущими материалами // Леса России в XXI веке: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-техн. интернет-конф. 2015. С. 66–68.

*Безрук В.М., Гурячков И.Л. и др.* Укрепленные грунты. М.: Транспорт, 1982. 231 с.

*Бессараб Г.А., Суворова Н.А., Ледовский И.Н., Шпак В.В., Берсин Д.С.* Исследование свойств дорожно-строительного материала из смеси гранитного отсева и нефелинового шлама, с изменением его дробления // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : матер. Междунар. науч. конф. Вологда: ВГТУ, 2014. № 1. С. 39–42.

*Бессараб Г.А., Суворова Н.А., Просеков С.А., Краснов Р.В., Елисеев А.А.* Улучшение свойств дорожно-строительного материала из смеси гранитного отсева и нефелинового шлама, с изменением его дробления // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : матер. Междунар. науч. конф. Вологда: ВГТУ, 2014. № 1. С. 20–23.

*Мещерииков И.В.* Применение нефелиновых шламов в дорожном строительстве // Современные научные исследования и инновации. 2012. № 10.

### **References**

*Zubova O.V., Bessarab G.A., Suvorova N.A.* Ecological aspects of application in forest road construction ash-soil mixtures processed by binding materials. (In Russ.)

*Bezruk V.M., Guryachkov I.L. et al.* Fortified soils. Moscow: Transport, 1982. 231 p. (In Russ.)

Bessarab G.A., Suvorova N.A., Ledovsky I.N., Shpak V.V., Bersin D.S. Investigation of the properties of road-building material from a mixture of granite screening and nepheline sludge, with a change in its crushing. *Materials of the international scientific conference «Actual problems of forestry complex development»*. Vologda: VSTU, 2014, no. 1, pp. 39–42. (In Russ.)

Bessarab G.A., Suvorova N.A., Prosecov S.A., Krasnov R.V., Eliseev A.A. Improvement of the properties of road-building material from a mixture of granite screening and nepheline sludge, with a change in its crushing. *Materials of the international scientific conference «Actual problems of forestry complex development»*. Vologda: VSTU, 2014, no. 1, pp. 20–23. (In Russ.)

Masarikov I.V. The use of nepheline sludge in road construction. *Modern scientific researches and innovations*, 2012, no. 10. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 15.02.2018 г.

**Зубова О.В., Силецкий В.В., Козлов А.П., Кузнецов К.В.** Исследования дорожных смесей на основе грунтов лесной зоны и нефелинового шлама с добавками минеральных вяжущих // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. С. 187–200. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.187-200

В исследованиях рассматривается вариант решения проблемы строительства лесных дорог. В качестве одного из решений данной проблемы представлено создание нового экономически доступного материала – смесей из грунта и нефелинового шлама, укрепленного минеральными вяжущими. Ранее проведенные исследования дорог, построенных с применением шламов, подтвердили эффективность и экономическую выгоду использования данного отхода промышленности. Нефелиновый шлам преимущественно исследовался как самостоятельный материал, смеси нефелинового шлама с лесными грунтами мало исследованы. Были проведены исследования нефелинового шлама как компонента, укрепляющего грунты лесной зоны Северо-Запада. В статье приведены результаты исследований таких смесей, как смесь песка, обработанного шламоцементом; смесь суглинка, обработанного шламоцементом. Результаты исследований подтверждают потенциальную эффективность использования нефелинового шлама для строительства лесных дорог в зоне Северо-Запада.

**Ключевые слова:** нефелиновый шлам, лесные дороги, лесные грунты, дорожное строительство, песок, суглинок.

**Zubova O.V., Siletskii V.V., Kozlov A.P., Kuznetsov K.V.** Research of road mixtures on the basis of the soils of the forest zone and nepheline sludge with additives of mineral binders. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2018, is. 223, pp. 187–200 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.187-200

In the studies, a variant of solving the problem of building forest roads is considered. One of the solutions to this problem is the creation of a new economically

accessible material – mixtures of soil and nepheline sludge, reinforced with mineral binders. Previous studies of roads built using slimes confirmed the efficiency and economic benefits of using this industry waste. Nepheline sludge was mainly studied as an independent material, mixtures of nepheline sludge with forest soils were little studied. Studies of nepheline sludge as a component that strengthens the soils of the forest zone of the Northwest have been carried out. The article presents the results of studies of such mixtures as: a mixture of sand treated with slurry cement; mixture of loam treated with slime cement. The results of the studies confirm the potential effectiveness of the use of nepheline sludge for the construction of forest roads in the zone of the Northwest.

**Key words:** nepheline sludge, forest roads, forest soils, road construction, sand, loam.

---

**ЗУБОВА Оксана Викторовна** – старший преподаватель кафедры промышленного транспорта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ok\_z19@mail.ru

**ZUBOVA Oksana V.** – PhD (Technical), St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Petersburg, Russia. E-mail: ok\_z19@mail.ru

**СИЛЕЦКИЙ Вадим Витальевич** – студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lol.spairo@yandex.ru

**SILETSKII Vadim V.** – student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Petersburg, Russia. E-mail: lol.spairo@yandex.ru

**КОЗЛОВ Антон Павлович** – студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Kozlov.7.96@mail.ru

**KOZLOV Anton P.** – student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Petersburg, Russia. E-mail: Kozlov.7.96@mail.ru

**КУЗНЕЦОВ Константин Валерьевич** – студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: redpsototype810@gmail.com

**KUZNETSOV Konstantin V.** – student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Petersburg, Russia. E-mail: redpsototype810@gmail.com