

УДК 624.138.232

С. А. Чудинов

## АДАПТАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Вызванные изменением климата тяжелые погодные проявления ограничивают использование традиционных дорожно-строительных материалов. Показана возможность строительства лесовозных дорог из укрепленных грунтов с использованием портландцемента и добавки полиэлектролита. Приведены результаты и анализ исследований физико-механических свойств укрепленных грунтов в условиях тяжелых климатических воздействий.*

**Ключевые слова:** адаптационные технологии, лесовозные дороги, цементогрунт, укрепленный грунт, полиэлектролит.

**Введение.** По оценке российских ученых, большая часть территории России находится в области значительного наблюдаемого и прогнозируемого изменения климата [1]. Помимо роста температуры происходит и ряд других, связанных с потеплением, изменений в климатической системе. Они проявляются в усилении изменчивости погоды (сильные морозы, сменяющиеся резкими оттепелями зимой, рост числа необычайно жарких дней летом), в увеличении частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений (штормов, ураганов, наводнений, засух), усилении неравномерности выпадения осадков и т.п.

Наиболее уязвимыми в условиях изменения климата являются естественные природные системы. В настоящее время существует угроза для лесных экосистем, поскольку изменение климата происходит быстрее, чем природа может приспособиться к этим изменениям. Сохранение и улучшение состояния лесных массивов является приоритетной задачей в смягчении последствий глобального потепления, поскольку леса поглощают не только углекислый газ, являющийся основным парниковым газом, но и тяжелые металлы, опасные соединения хлора, серы, азота и т.п. Заблаговременные действия могут свести к минимуму угрозы в отношении лесных экосистем, здоровья человека, а также принести заметную экономическую выгоду.

В сложившихся условиях важнейшим является ведение интенсивного лесного хозяйства и организация экономичного лесопользования, направленного на охрану природы, сохранение и преумножение ее биоразнообразия. Одним из главных факторов эффективности реализации данных мероприятий является уровень развития транспортной инфраструктуры. Строительство сети недорогих, качественных лесовозных дорог позволит обеспечить доступ ко всем участкам лесного фонда вне зависимости от погодных условий, снизить транспортные расходы, увеличить эффективность борьбы с лесными пожарами, а также сократить выбросы вредных отработанных газов автотранспорта [2].

Строительство лесовозных дорог из укрепленных грунтов является наиболее действенной, экономичной и ресурсосберегающей технологией, поскольку позволяет использовать имеющиеся грунты в качестве конструкционных материалов дорожной

одежды [3]. Однако вызванные изменением климата тяжелые погодные проявления (увеличение числа суток с попеременным переходом температуры воздуха через ноль, увеличение количества осадков, уменьшение максимальной продолжительности сухих периодов, повышение уровня грунтовых вод и т.п.) ограничивают использование традиционных дорожно-строительных материалов, требуя реализации адаптационных технологий в данной сфере.

**Цель работы:** исследование эффективных технологий строительства лесовозных дорог из укрепленных грунтов в условиях изменения климата.

**Пути решения поставленной задачи:** одной из перспективных технологий строительства лесовозных дорог в указанных условиях является укрепление грунтов портландцементом (ПЦ) с добавкой полиэлектролита (ПЭ). Данный полиэлектролит – это высокомолекулярный сильноосновной катионный полимер линейно-циклической структуры. При введении в глинистый грунт раствора этого вещества происходит его диссоциация с образованием сложного полимерного органического катиона, который активно взаимодействует с ацидоидами глинистого грунта. Действие полиэлектролита направлено на изменение электрических свойств глинистых коллоидов и обусловлено их нейтрализацией с уменьшением общего  $\zeta$ -потенциала, а также одновременным сжатием двойного диффузного слоя. В результате происходит сокращение или даже полное исчезновение слоя сорбционной воды вокруг глинистых коллоидов, снижается емкость обменного поглощения и становится дисперсной, однородной и гомогенной структура глинистого грунта. Благодаря данным процессам, повышается эффективность реакций структурообразования портландцемента, что значительно улучшает морозостойкость, прочностные и деформационные показатели цементогрунта.

Стоит отметить, что указанное влияние добавки полиэлектролита на макроструктуру и электрические свойства глинистых грунтов позволяет использовать для укрепления портландцементом грунты с числом пластичности более 12 без улучшения зернового состава песком и доведением числа пластичности до 12.

**Методика исследований.** Для изучения физико-механических показателей укрепленных грунтов в условиях экстремальных климатических воздействий был проведен ряд лабораторных исследований. Для испытаний был взят суглинистый грунт (табл.), портландцемент марки 400 и полиэлектролит.

**Характеристика укрепляемого грунта (суглинок тяжелый)**

Удельный вес грунта, т/м <sup>3</sup>	2,68
Влажность на границе текучести, % по массе	30
Влажность на границе раскатывания, % по массе	16
Число пластичности	14
Оптимальная влажность, % по массе	19
Содержание гумусовых веществ, % по массе	1,6

Для исследования цементогрунтов на предел прочности при сжатии образцы укреплялись 2, 4, 6, 8% портландцемента с добавкой 0,8; 0,45; 0,2; 0,1% полиэлектролита от массы грунта соответственно и испытывались в возрасте семи суток твердения в водонасыщенном состоянии по стандартной методике ГОСТ 10180. Контрольные образцы укреплялись одним цементом с той же дозировкой.

Полное водонасыщение укрепленных грунтов осуществлялось по ГОСТ 23558-94. Величина водонасыщения вычислялась по формуле:

$$W_{\text{полное}} = \frac{P_3 - P_1}{P_1 - P_2} 100 \%,$$

где:  $P_1$  – масса образца на воздухе до водонасыщения, г;

$P_2$  – масса образца в воде до водонасыщения, г;

$P_3$  – масса образца на воздухе после водонасыщения, г.

Для определения водонасыщения использовались образцы, укрепленные 2, 4, 6, 8% портландцемента с добавкой 0,8; 0,45; 0,2; 0,1% полиэлектrolита от массы грунта соответственно и испытывались в возрасте семи суток твердения. Контрольные образцы укреплялись одним цементом с той же дозировкой.

Оценка морозостойкости грунтов, укрепленных цементом с добавкой полиэлектrolита, проводилась согласно требованиям ГОСТ 23558-94. Образцы были изготовлены с добавкой 6% портландцемента и 0,3% полиэлектrolита от массы грунта. С целью создания равных начальных условий проведения эксперимента контрольные образцы укреплялись одним цементом в количестве 8% от массы грунта. В опытах было принято: количество циклов замораживания-оттаивания – 25; температура замораживания  $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ ; степень водонасыщения – полное.

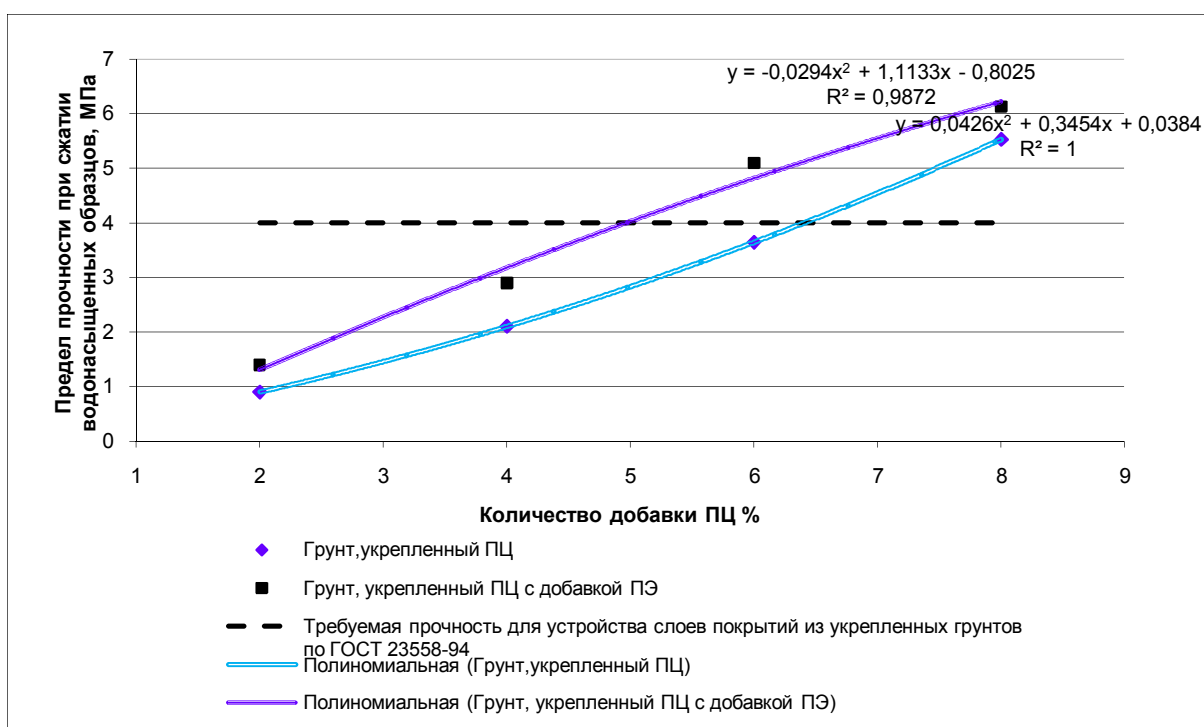


Рис. 1. Изменение предела прочности при сжатии цементогрунтовых образцов в зависимости от содержания портландцемента и полиэлектrolита

**Анализ результатов.** Из рис. 1 видно, что добавка полиэлектrolита способствует существенному увеличению прочности цементогрунта. Например, у образцов, укрепленных 6% портландцемента с добавкой 0,2% полиэлектrolита, предел прочности при сжатии выше на 40%, чем у соответствующих образцов, укрепленных одним минеральным вяжущим. При этом предел прочности контрольных образцов с добавкой 6% портландцемента ниже требуемой прочности на 10%, а предел прочности соответствующих цементогрунтовых образцов с добавкой полиэлектrolита выше требуемой на 28%, что может обеспечить надежность конструкции дорожной одежды в агрессивных природно-климатических условиях и при повышенных транспортно-эксплуатационных нагрузках.

Как показывают данные полного водонасыщения (рис. 2), введение добавки полиэлектролита приводит к значительному снижению данного показателя. Допустимый уровень водонасыщения наблюдается при введении 4% портландцемента и 0,45% полиэлектролита. Образцы, укрепленные одним портландцементом, достигают допустимого водонасыщения лишь при добавлении 6% минерального вяжущего. Добавка 6% портландцемента и 0,2% полиэлектролита позволяет получать цементогрунт с показателем водонасыщения на 53% меньшим, чем требуемое для укрепленных грунтов I класса прочности, что является важным для долговременной, стабильной работы дорожной одежды при постоянной повышенной влажности рабочего слоя земляного полотна, обильных осадках и других характерных условиях изменяющегося климата.

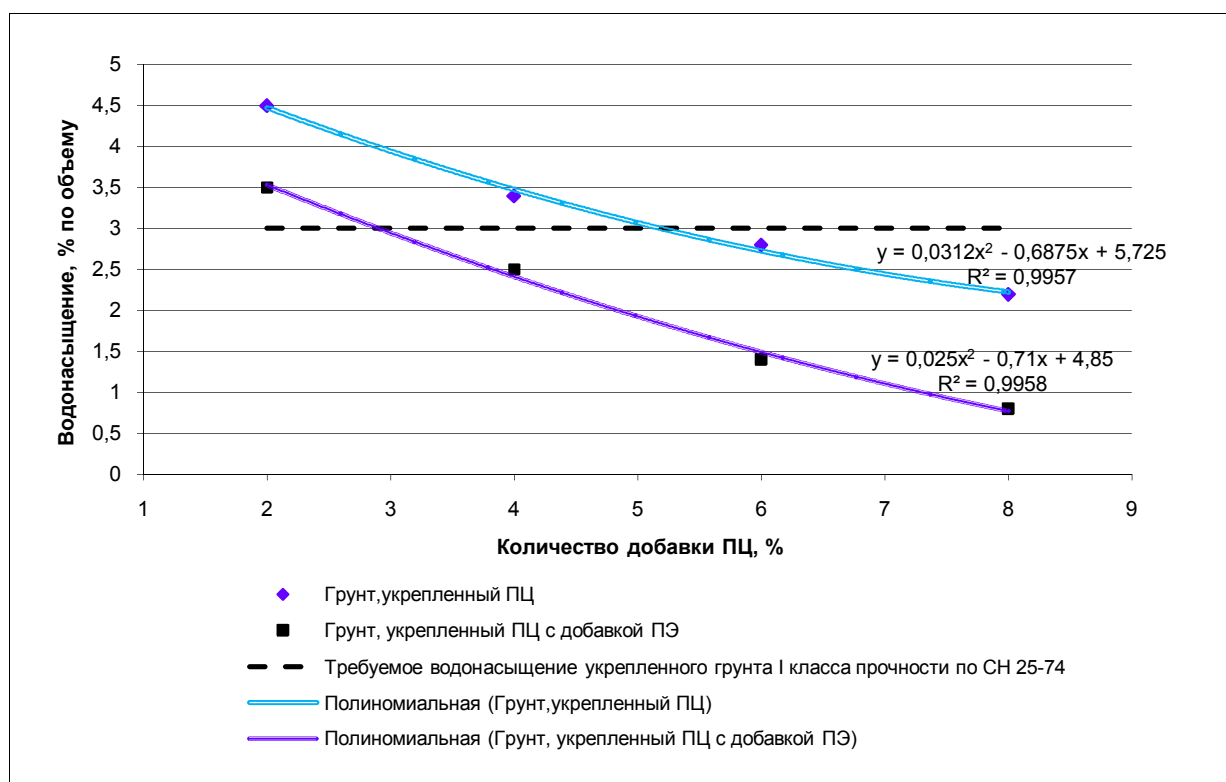


Рис. 2. Изменение водонасыщения цементогрунтовых образцов в зависимости от содержания портландцемента и полиэлектролита

Данные экспериментов по морозостойкости (рис. 3) свидетельствуют о высокой эффективности добавки полиэлектролита. Из графика видно, что введение полиэлектролита позволяет значительно повысить морозостойкость цементогрунтовой смеси при снижении необходимого содержания минерального вяжущего. Так грунт, укрепленный 8% портландцемента, соответствует марке по морозостойкости F10, а введение 6% портландцемента и 0,3% полиэлектролита позволяет достичь марки по морозостойкости F20. С учетом того, что укрепленные грунты с более низкой маркой по морозостойкости F15 рекомендованы для строительства слоев оснований в районах со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца от  $-15$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ , а также для строительства покрытий со слоем износа в районах со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца от  $-5$  до  $-15^{\circ}\text{C}$  использование цементогрунта, укрепленного портландцементом с добавкой полиэлектролита во II дорожно-климатической зоне, где расположены основные запасы леса, оправдывается не только высокой технической гарантией, но и экономической выгодой. Кроме этого, повыше-

ние морозостойкости цементогрунтов с использованием добавки полиэлектролита может обеспечить надежность конструкции дорожных одежд, учитывая одну из важных тенденций изменяющегося климата: увеличение числа суток с попеременным переходом температуры воздуха через ноль.

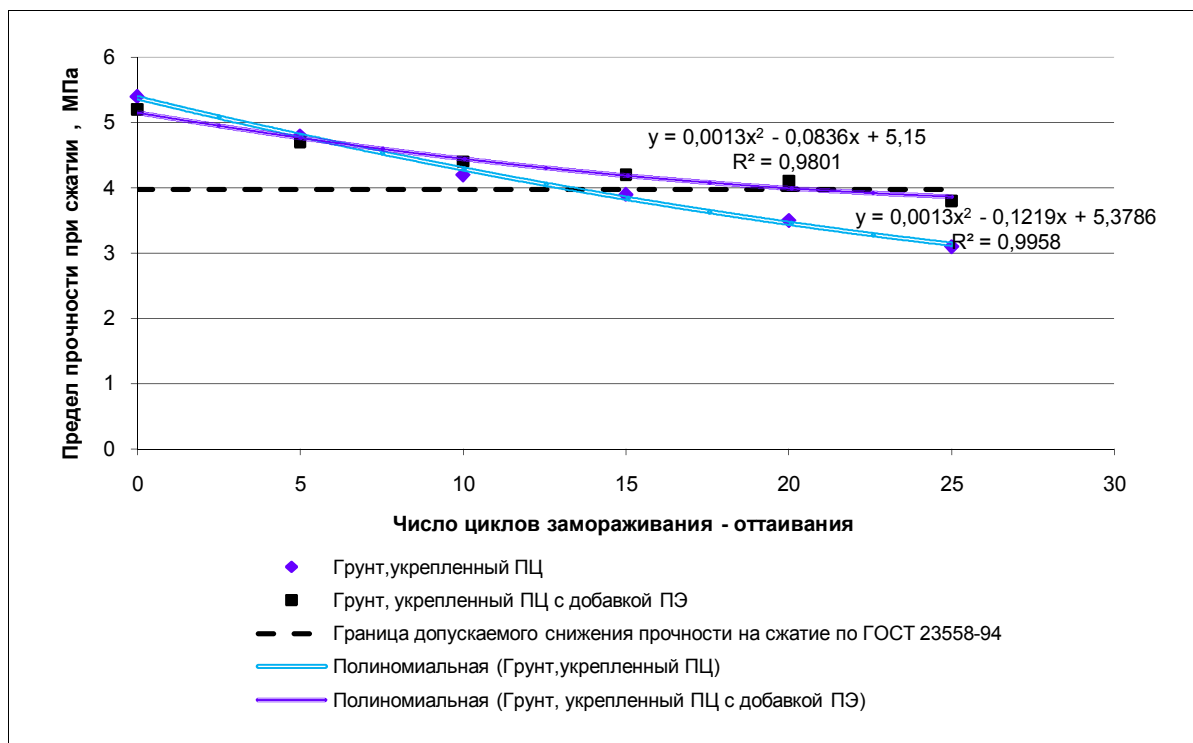


Рис. 3. Изменение прочности при сжатии цементогрунтовых образцов в зависимости от числа циклов замораживания – оттаивания

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1) добавка полиэлектролита способствует существенному увеличению прочности цементогрунта, что может обеспечить надежность конструкции дорожной одежды в агрессивных природно-климатических условиях и при повышенных транспортно-эксплуатационных нагрузках;

2) введение полиэлектролита приводит к значительному снижению водонасыщения цементогрунта. Данный показатель является важным для долговременной, стабильной работы дорожной одежды при постоянной повышенной влажности рабочего слоя земляного полотна, обильных осадках и других характерных условиях изменяющегося климата;

3) грунты, укрепленные портландцементом с добавкой полиэлектролита, обладают повышенной морозостойкостью, что может обеспечить надежность конструкции дорожных одежд, учитывая одну из важных тенденций изменяющегося климата: увеличение числа суток с попеременным переходом температуры воздуха через ноль;

4) введение полиэлектролита способствует снижению потребности в цементе при получении дорожно-строительного материала с заданными физико-механическими показателями;

5) укрепление грунтов портландцементом с добавкой полиэлектролита позволяет значительно превосходить требуемые нормы физико-механических показателей и мо-

жет обеспечить надежность и долговечность лесовозных дорог в условиях изменения климата, что делает данную технологию одной из перспективных для ведения интенсивного лесного хозяйства и организации экономичного лесопользования, направленного на охрану природы в сложившихся условиях.

#### Список литературы

1. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). – М.: «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 29 с.
2. Карпачевский, М. Л. Основы устойчивого лесопользования: учеб. пособие для вузов / М. Л. Карпачевский, В. К. Тепляков, Т. О. Яницкая, А. Ю. Ярошенко; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – М., 2009. – 143 с.
3. Безрук, В. М. Укрепленные грунты. (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В. М. Безрук, И. Л. Гурячков, Т. М. Луканина, Р. А. Агапова. – М.: Транспорт, 1982. – 231 с.

Статья поступила в редакцию 17.06.10.

*S. A. Chudinov*

#### **ADAPTATION TECHNOLOGIES IN FOREST ROADS BUILDING IN THE CHANGING CLIMATE CONDITIONS**

*Heavy weather conditions, provoked by climate change, restrict the use of traditional road construction materials. The possibility of forest roads construction from the improved soil with Portland cement and polyelectrolyte additive use is presented. Results and analysis of the studies of physical and mechanical properties of the improved soil in harsh climatic influence are presented.*

**Key words:** *adaptation technologies, forest roads, soil cement, improved soil, polyelectrolyte.*

---

*ЧУДИНОВ Сергей Александрович* – аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства Уральского государственного лесотехнического университета. Область научных интересов – укрепление грунтов с использованием полимерных добавок. Автор десяти публикаций.

E-mail: serg-chudinov@yandex.ru