

Научная статья  
УДК 624.138.23

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ  
КРИСТАЛЛИЗАЦИОННО-КОАГУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ  
УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Анастасия Алексеевна Порицкая<sup>1</sup>, Сергей Александрович Чудинов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> anastasiyaporitskaya2000@gmail.com

<sup>2</sup> chudinovsa@m.usfeu.ru

**Аннотация.** На сегодняшний день эффективное укрепление грунтов является актуальной задачей в сфере строительства лесовозных автомобильных дорог. В статье представлены результаты лабораторных исследований, а также преимущества применения стабилизирующей добавки «Консолид», способствующей формированию комплексной кристаллизационно-коагуляционной структуры укрепленных грунтов.

**Ключевые слова:** укрепление грунтов, стабилизирующая добавка «Консолид», лесовозные автомобильные дороги, дорожная одежда

Original article

**FEATURES OF THE FORMATION OF THE CRYSTALLIZATION-  
COAGULATION STRUCTURE OF REINFORCED SOILS  
OF STRUCTURES OF LOGGING ROADS**

**Anastasia A. Poritskaya<sup>1</sup>, Sergey A. Chudinov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> anastasiyaporitskaya2000@gmail.com

<sup>2</sup> chudinovsa@m.usfeu.ru

**Abstract.** Nowadays, effective soil strengthening is an urgent task in the field of construction of logging roads. The article presents the results of laboratory research, as well as the advantages of using of the stabilizing additive “Consolid”, which contributes to the formation of a complex crystallization-coagulation structure of reinforced soils.

**Keywords:** soil strengthening, stabilizing additive “Consolid”, logging roads, road pavement

---

© Порицкая А. А., Чудинов С. А., 2024

Укрепление грунтов вяжущими материалами представляет собой комплекс мер и процессов, тесно связанных между собой.

При взаимодействии цементных зерен с частицами грунта и его тонкодисперсной фракцией происходят различные химические, физико-химические и физико-механические процессы, которые приводят к образованию новых соединений и укреплению грунта.

Одним из ключевых химических процессов является гидратация цементных зерен. При смешивании цемента с водой происходит химическая реакция, в результате которой образуются продукты гидратации. Эти продукты обладают свойством твердеть со временем, что способствует укреплению грунта.

Физико-химические процессы играют не менее важную роль в укреплении грунта. Взаимодействие продуктов гидратации цемента с тонкодисперсной фракцией грунта может приводить к обменному поглощению составных частей продуктов гидратации. Кроме того, на поверхности раздела фаз может происходить молекулярная сорбция веществ из растворов. Эти процессы способствуют образованию прочного связующего материала и предотвращают расслоение грунта.

К физико-механическим процессам относят размельчение грунтовых агрегатов, определение строго необходимого количества минерального вяжущего и равномерное перемешивание вяжущего с грунтом. Оптимальное увлажнение смеси и ее уплотнение для достижения максимальной плотности также играют важную роль. Длительное обеспечение требуемого режима твердения готового слоя укрепленного грунта помогает сохранить его структурно-механические свойства на протяжении длительного времени [2].

Существует три разновидности пространственных структур дисперсных материалов: кристаллизационные, конденсационные и коагуляционные.

Образование кристаллизационных структур происходит путем объединения микроскопических кристаллов новой твердой фазы, которые образуются при гидратационном твердении. Эти структуры признаются одними из самых прочных.

Конденсационные образования, в свою очередь, возникают из-за низкой связности между частицами.

Характеристикой материалов с коагуляционной структурой является создание неупорядоченной трехмерной сетки из дисперсных частиц. В отличие от материалов с кристаллизационной структурой, они являются более гибкими и деформируемыми, обладают ползучестью, однако их прочность значительно ниже [1].

Кристаллизационная структура материалов способствует поддержанию высоких показателей прочности укрепленных грунтов, однако важно осуществлять тщательный контроль процесса кристаллизации, так как данная структура отличается своей жесткостью и может приводить к трещинообразованию [3, 4].

В ходе проведения исследований по укреплению грунтов с использованием портландцемента и концентрата эмульсии «Консолид» в лабораторных условиях были использованы три вида грунтов, а именно: суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый и глина легкая пылеватая. Эти исследования направлены на контроль и целенаправленное регулирование процессов, которые влияют на формирование структуры и свойств грунтов.

Количество портландцемента, введенного в грунты, составило: 0 %, 3 %, 5 %, 7 %, 9 % от массы сухого грунта.

Количество концентрата эмульсии «Консолид», введенного в грунты, составило 0 %, 0,03 %, 0,06 %, 0,2 % от массы сухого грунта.

Проанализировав рис. 1, можно сделать вывод, что использование добавки «Консолид» в количестве 0,06–0,20 % от общей массы сухого грунта без наличия минерального вяжущего приводит только к незначительному увеличению прочности суглинка легкого пылеватого (0,10–0,12 МПа). Использование добавки «Консолид» совместно с минеральным вяжущим позволяет в зависимости от дозировок вяжущих компонентов достичь требуемых значений предела прочности при сжатии цементогрунтов.

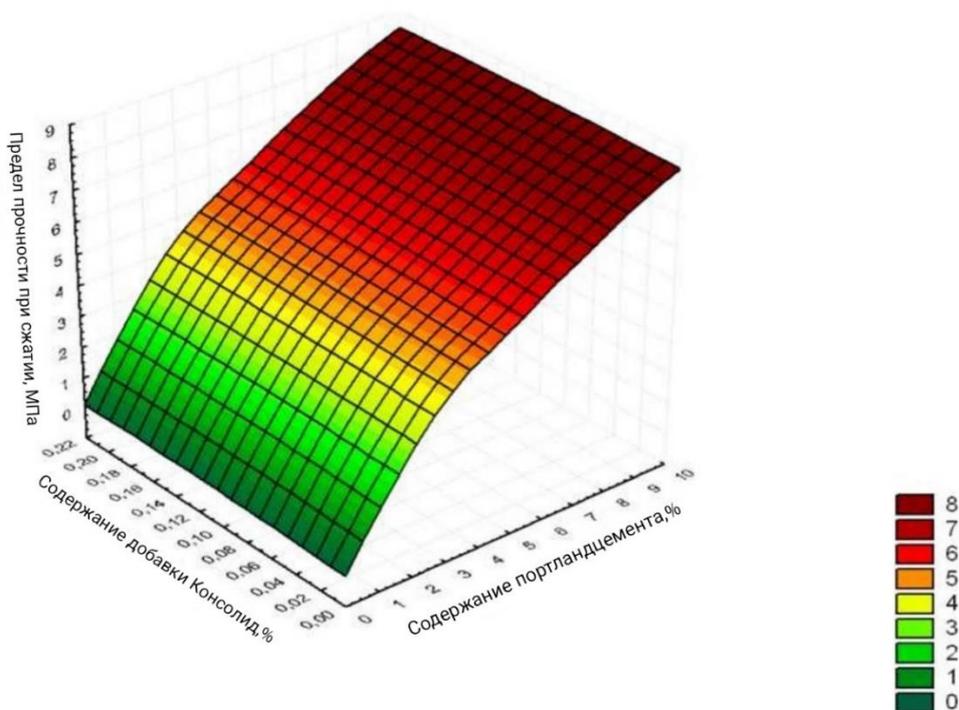


Рис. 1. Поверхность отклика предела прочности при сжатии для суглинка легкого пылеватого в зависимости от содержания портландцемента

Из рис. 2 следует, что применение добавки «Консолид» (0,06–0,20 % от массы сухого грунта) без минерального вяжущего приводит к незначительному увеличению прочности суглинка тяжелого пылеватого (0,18–

0,19 МПа). Использование добавки «Консолид» совместно с минеральным вяжущим позволяет в зависимости от дозировок вяжущих компонентов достичь требуемых значений предела прочности при сжатии цементогрунтов.

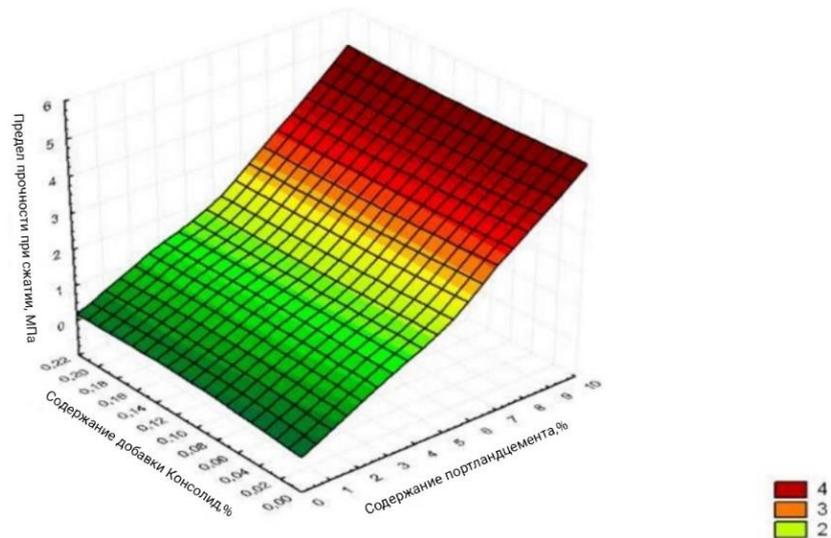


Рис. 2. Поверхность отклика предела прочности при сжатии для суглинка тяжелого пылеватого в зависимости от содержания портландцемента

Из рис. 3 следует, что использование добавки «Консолид» в количестве 0,03–0,20 % от общей массы сухого грунта без минерального вяжущего приводит к незначительному увеличению прочности глины легкой пылеватой (0,12–0,24 МПа). Использование добавки «Консолид» совместно с минеральным вяжущим позволяет в зависимости от дозировок вяжущих компонентов достичь требуемых значений предела прочности при сжатии цементогрунтов.

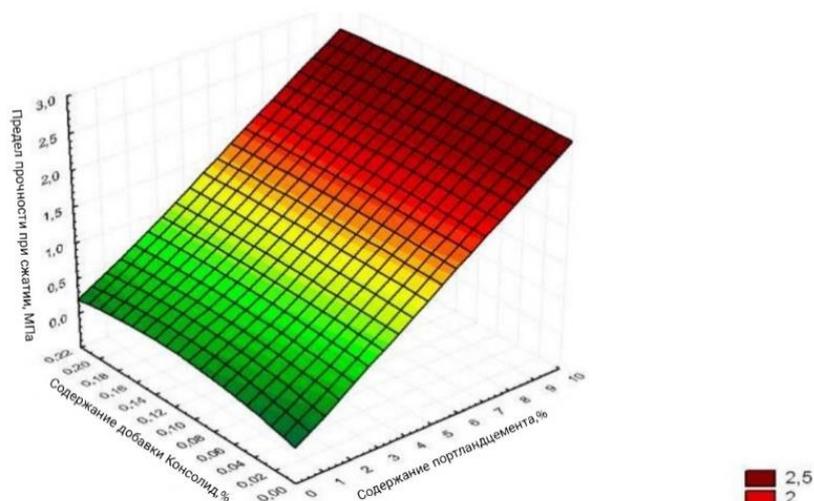


Рис. 3. Поверхность отклика предела прочности при сжатии для глины легкой пылеватой в зависимости от содержания портландцемента

На основании проведенного исследования образцов грунтов, обладающих различным гранулометрическим составом (суглинка легкого пылеватого, суглинка тяжелого пылеватого и глины легкой пылеватой), были сделаны следующие выводы:

1. Применение добавки «Консолид» без минерального вяжущего позволяет создать коагуляционную структуру, которая придает укрепленным грунтам упруго-вязко-пластичные свойства, а также низкую прочность и водонасыщение.

2. Эффективность применения добавки «Консолид» в процессе укрепления грунтов возрастает с увеличением дисперсности грунтов и содержания пылеватых и глинистых частиц. Это наблюдается в последовательности суглинок – глина.

3. Использование добавки «Консолид» совместно с минеральным вяжущим позволяет создать комплексную кристаллизационно-коагуляционную структуру, которая удовлетворяет требуемым значениям предела прочности при сжатии, и ее формирование непосредственно зависит от правильного соотношения добавленных вяжущих компонентов [5].

### *Список источников*

1. 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.

2. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика дисперсных структур // Физико-химическая механика дисперсных структур. М. : Наука, 1966. С. 3–28.

3. Чудинов С. А. Производственные испытания грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2011. № 6 (324). С. 58–61.

4. Чудинов С. А. Повышение эффективности укрепления глинистых грунтов портландцементом с добавкой полиэлектролита // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог : сборник научных трудов. 2013. № 4 (63). С. 121–129.

5. Чудинов С. А. Теоретические исследования укрепления грунтов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2010. № 5. С. 82–88.