

## **СЕРНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ОТ БЕДСТВЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДНОЙ СТИХИИ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ СИТУАЦИЯХ**

**В. ЛОЛАДЗЕ, М. ЛОРДКИПАНИДЗЕ, И. ЗУБИТАШВИЛИ**

Поступило 12.10.2015

*Предлагаются варианты использования серных бетонов, растворов и расплавов серы для устройства защитных сооружений от пагубных последствий воздействия резкого подъема уровня рек при выпадении осадков сверхнормативной интенсивности и продолжительности, а также от штормового воздействия морских прибрежных зон.*

*С целью стабилизации оползневых участков предлагается использование грунтовых анкеров с корнем из серобетона, совмещенных с дренажной системой.*

*Для закрепления грунтов и устройства противофильтрационных стенок предлагается использование расплава серы для инъектирования под давлением через шурфы в грунт.*

*Предложения основаны на способности быстрого твердения в конструкциях и грунтах серных бетонов и расплавов серы с одновременным приобретением высоких технических и эксплуатационных показателей создаваемых изделий и сооружений.*

**Ключевые слова:** защитные сооружения, оползни, прибрежные зоны, серный бетон, экстремальные ситуации, защитные мероприятия, стабилизация

Геомасштабное изменение климата последних лет особенно проявляется в изменении интенсивности осадков, их повышении и увеличении времени выпадения. Последствия этих изменений особенно ощутимы для стран с горным рельефом, где интенсивность подъема уровня воды горных потоков, а также порождаемых ими эрозионных и оползневых процессов, прямо связаны с интенсивностью и продолжительностью выпадения осадков.

Здания и сооружения, построенные с обеспечением их противостояния стихийным явлениям, на основе среднестатистических многолетних наблюдений в ряде случаев не могут сопротивляться натискам стихии с её современными экстремальными проявлениями.

В сельских и горных регионах, особенно отдаленных от центральных районов речные мостовые переходы, прибрежные берегозащитные и иные сооружения, обычно возводились с учетом 20, 50, реже 100-летней среднестатистической повторяемости максимального подъема уровня высоких вод для конкретной определенной местности.

Повышенные сверхнормативная интенсивность и продолжительность выпадения осадков вызывают быстрое и резкое повышение уровня воды в створе рек узких горных ущелий и оврагов с верхним уровнем подъема воды, значительно высшим принятым расчетным. Суммарный со смежных ущелий и оврагов

сверхнормативный сток воды приводит к подтоплениям значительных территорий со всеми сопутствующими последствиями.

Даже при прогнозировании возможных катастрофических стихийных проявлений, в силу определенной объективной инертности и нехватки времени зачастую невозможно противостоять наступающим стихийным бедствиям – наводнениям, селям, оползням, эрозии плодородного почвенного покрова и др.

В этих случаях наиболее обнадеживающими могут стать сооружения пассивной, или, иначе говоря, вторичной защиты, а также усиление, повышение уровня надежности и сопротивляемости действующих сооружений, закрепление грунтов. При этом во всех случаях, в том числе и при возведении новых сооружений, необходимо предусматривать повышение на одну - две ступени величины максимального среднестатистического уровня подъема высоких вод, установленного для конкретной местности (например, с 20-летней на 50-летнюю среднестатистическую повторяемость).

Для быстрого и эффективного использования в экстремальных ситуациях такие сооружения должны обладать определенной универсальностью, отличаться простотой и экономичностью, минимально возможным сроком сооружения и ввода в эксплуатацию.

Для достижения этих целей можно рекомендовать строительные технологии, использующие серные бетоны и серные растворы.

Серные бетоны и растворы представляют собой строительные материалы, в которых при изготовлении взамен цемента в качестве вяжущего используется расплав серы. В качестве инертных материалов применяются такие же заполнители, что и в обычных цементных бетонах и растворах.

Серные бетоны и растворы практически водонепроницаемы, обладают высокой морозостойкостью и химической стойкостью, высокой электроизолирующей способностью. По прочностным характеристикам серные бетоны занимают промежуточное положение между цементными бетонами классов В25...В30 и высокопрочными полимербетонами.

Результаты исследования сохранности стальной арматуры в течение двух лет показали, что серный бетон надежно предохраняет арматуру от коррозии в условиях качественно изготовленного плотного бетона. При расходах серы 300...400 кг на 1 м<sup>3</sup> серного бетона получают серные бетоны с прочностью на сжатие 50...60 МПа и на растяжение 7,5...9,5 МПа – т.е. при сопоставимых прочностях на сжатие прочность на растяжение серного бетона почти в 2 раза выше, чем у цементного. Предел выносливости серного бетона составляет в среднем 85...90% модуля разрушения, по сравнению с 50...55% для цементного бетона.

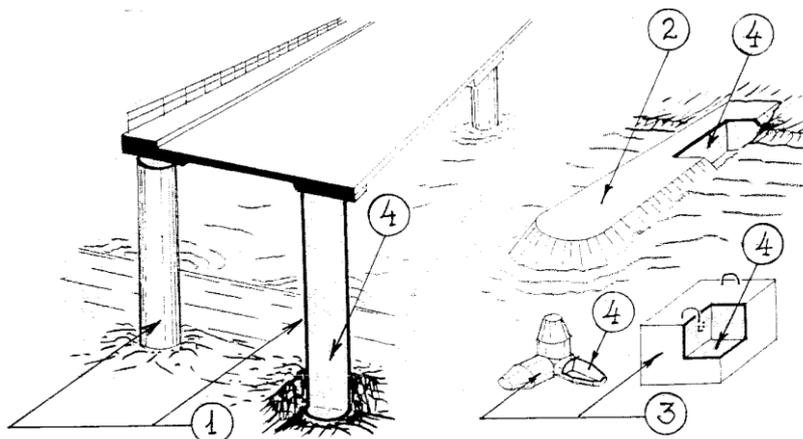
Технология получения серных бетонов незначительно отличается от технологии асфальтовых бетонов. Производство таких бетонов может быть налажено с использованием уже существующего оборудования на мобильных или стационарных асфальтовых заводах.

Технологический процесс изготовления серного бетона включает перемешивание разогретого до температуры 160–170<sup>0</sup>С расплава серы с разогретым до температуры 150–160<sup>0</sup>С инертным материалом. Твердение серобетона происходит за счет кристаллизации расплава серы при его охлаждении до температуры ниже 120–122<sup>0</sup>С. В естественных условиях это позволяет получать затвердевший, готовый к восприятию эксплуатационных нагрузок бетон через 2–3 часа после бетонирования, что важно в экстремальных ситуациях.

Учитывая описанные технологические свойства серных бетонов и растворов, можно рекомендовать использовать их в экстремальных ситуациях при ускоренном изготовлении и применении защитных сборных конструкций, отдельных блоков или монолитных частей создаваемых защитных сооружений. В зависимости от предназначения и конфигурации изготавливаемого элемента опалубкой могут служить любые щиты, обрезки труб и иной формы утилизируемые материалы и детали, оставляемые затем в качестве “несъемной опалубки” в забетонированном изделии, или же их можно использовать в виде опалубки повторно.

Следует отметить еще одну особенность серного бетона – повторное использование бракованных конструкций путем их дробления, вторичного расплава и затем формования.

На рис. 1 приведены возможные варианты использования серных бетонов для создания временных или восстановления разрушенных мостовых переходов, устройства береговых водоотводных и защитных дамб, изготовления блоков для набросных дамб, перемычек и заделки брешей и промоин в плотинах и дамбах и т.д.



**Рис. 1. Применение серобетона при устройстве берегозащитных сооружений;**  
**1 – опоры из обрезков труб, заполненные серобетоном, используемые для**  
**восстановления мостовых переходов и устройства переправ; 2 – береговые водоотводные**  
**дамбы или волнорезы с “телом” из серобетона; 3 – берегозащитные набросные блоки;**  
**4 – серобетон**

Такого же рода конструкции и изделия из серных бетонов и растворов могут быть использованы и при защите морских берегов от штормовых размывов.

При экспериментировании применялись тяжелые и облегченные серные бетоны. Подбор составов и изготовление серных бетонов осуществлялись в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1].

В тяжелых серобетонах использовались обычные рядовые плотные заполнители. Для получения облегченных серобетонов со средней объемной массой до  $\gamma_{\text{ср}} = 2000 \text{ кг/м}^3$  использовался пористый вулканический шлак. Цель получения облегченных серобетонов состояла в приближении средней объемной массы материала стенки подземных и заглубленных сооружений, например противофильтрационных стенок или элементов ядра насыпных защитных дамб и плоти, к средней объемной массе окружающего их грунта. Это поможет предотвратить возможные просадки сооружений или возникновение в них вызывающих трещинообразование деформаций и напряжений как от взвешивающего воздействия грунтовых вод на сооружения и окружающих их грунт, так и от сейсмических сил.

В таблице приведены прочностные характеристики тяжелых и облегченных серобетонов на сжатие  $R_b$ , растяжение при изгибе  $R_n$  и показатель трещиностойкости бетона – критический коэффициент интенсивности напряжения  $K_{Ic}$ , полученный испытанием балочек с надрезом на изгиб по схеме трехточечного приложения нагрузки.

Прочностные показатели и показатель трещиностойкости  $K_{Ic}$   
серных бетонов

Таблица

Вид заполнителя серобетона	$\gamma_{\text{ср}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_b$ , МПа	$R_n$ , МПа	$K_{Ic}$ , МН/М <sup>3/2</sup> по эксперименту	$K_{Ic}$ , МН/М <sup>3/2</sup> (*)
тяжелый	2347	36,1	9,1	1,135	0,52
легкий	2000	33,2	7,7	0,73	0,45

\*) из технической литературы для цементобетонов соответствующих классов по прочности.

Приведенные характеристики свидетельствуют о достаточно высоких прочностных показателях серобетонов, особенно трещиностойкости, что обеспечивает надежность их работы при применении в качестве материала для устройства противофильтрационных стенок и других подземных и заглубленных сооружений.

Повышение сверхнормативной интенсивности осадков существенно сказывается на устойчивости и стабильности состояния грунтов. Дестабилизации грунтов способствует и изменяемые с большой амплитудой влажность и насыщенность грунта влагой. Существенно снижается несущая способность и связность грунтов.

Существуют различные способы закрепления грунтов [2]. Среди них наибольшее применение на практике нашли такие способы, как: цементация, силикатизация. Применяется также и битумизация грунтов [3,4]. Каждый из них имеет свои границы

применяемости, в связи с чем ни один из них не является полностью универсальным и каждый имеет как преимущества, так и недостатки.

Суть метода битумизации состоит в том, что в грунт через пробуренные скважины нагнетается расплавленный битум, который, остывая в трещинах и межзерновых пустотах, сообщает породе водонепроницаемость даже при наличии значительных скоростей движения грунтовых вод.

Однако этот метод имеет ряд следующих недостатков:

- выдавливание битума из трещин с течением времени под напором грунтовых вод;
- водопроницаемость грунта снижается не полностью;
- значительная усадка.

Для закрепления грунтов можно рекомендовать пропитку грунтов расплавом серы, предложенным в [5]. Сущность предлагаемого метода состоит в том, что в грунт на заданную глубину через пробуренные скважины или забивные иньекторы нагнетают разогретый до температуры 130...170<sup>0</sup>С расплав серы. При нагнетании используются методика и оборудование, применяемые при горячей битумизации грунтов, но с незначительной модернизацией, учитывающие особенности приготовления расплава серы и его технологические параметры.

Проведен эксперимент по нагнетанию расплава серы в песчаный грунт средней плотности с максимальной крупностью зерен 2,5 мм. Расчетное сопротивление основания на данном грунте 0,25 МПа.

В процессе эксперимента, после завершения работ по нагнетанию по результатам испытания образцов средняя прочность укрепленного расплавом серы грунта составила 6,2 МПа. Для сопоставления: максимальная прочность битумо – грунтовых, битумо – песчаных композиций по [3] составляет 2...2,6 МПа, а максимальная прочность битумизированных грунтов по [4] - 4 МПа.

Предложенный метод закрепления грунтов по сравнению с известными имеет ряд преимуществ таких, как:

- быстрый набор прочности сразу после охлаждения расплава серы до температуры окружающей среды в течение всего 1,5...2 часа;
- отсутствие присущего цементации и химическому закреплению размокания грунта в процессе нагнетания расплава серы, а значит и осадки грунта;
- высокие прочностные показатели укрепленного грунта.

Кроме того, необходимо учесть, что в настоящее время в странах, потребляющих и перерабатывающих нефть и газ, сера является отходом, и её утилизация представляет серьёзную проблему. Поэтому использование серы как отхода нефтегазовой промышленности целесообразно и с экономической и с экологической точек зрения. Это говорит в пользу экономической эффективности предлагаемого способа укрепления грунтов.

На рис.2 приведены варианты применения предлагаемого метода закрепления грунтов для ряда случаев.

В природоохранных целях предлагаемый способ может быть рекомендован к использованию:

- при осуществлении противооползневых мероприятий (см. рис. 2);
- при защите склонов от водной и ветровой эрозии;
- при проведении мероприятий по уменьшению просадки грунтов;
- с целью уменьшения фильтрации грунтов (см. рис. 2);
- при закреплении трещиноватых, песчаных и обломочных пород;
- с целью уменьшения суффозии в фильтруемых горных породах.

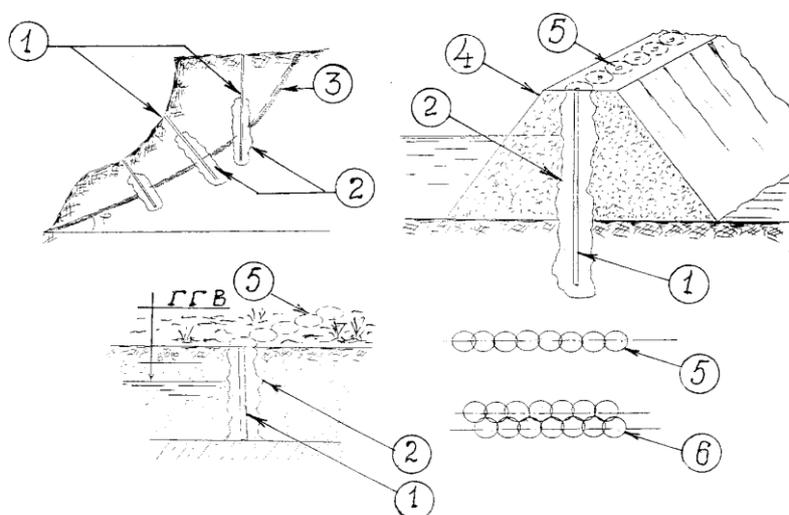


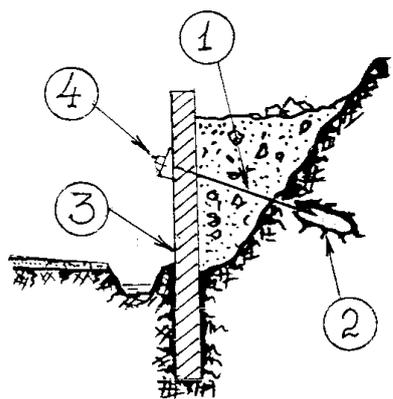
Рис. 2. Применение расплава серы для укрепления грунтов

1 – шпур для инъектирования расплава серы в грунт; 2 – участки грунта, закрепленные расплавом серы; 3 – плоскость скольжения грунта при обрушении откоса; 4 – насыпная дамба или гравитационная плотина; 5 – однорядное в плане нагнетание расплава серы в грунт при создании противофильтрационных стенок; 6 – двухрядное в плане нагнетание расплава серы в грунт при создании противофильтрационных стенок

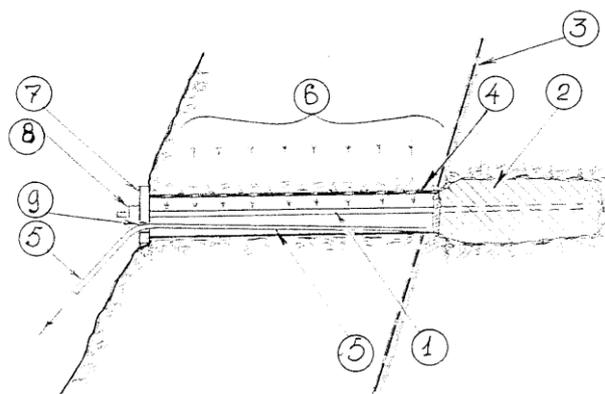
Размокающие от продолжительных и интенсивных осадков грунты, особенно на участках местности со значительным уклоном и на склонах гор, а также неукрепленных придорожных откосах, несут в себе угрозу неожиданных оползневых сходов, особенно в регионах с повышенной сейсмической активностью.

Для предотвращения развития оползневых процессов в результате размокания грунта естественных и послепопостроечных откосов предлагается применение так называемых “дренажных грунтовых анкеров” [6].

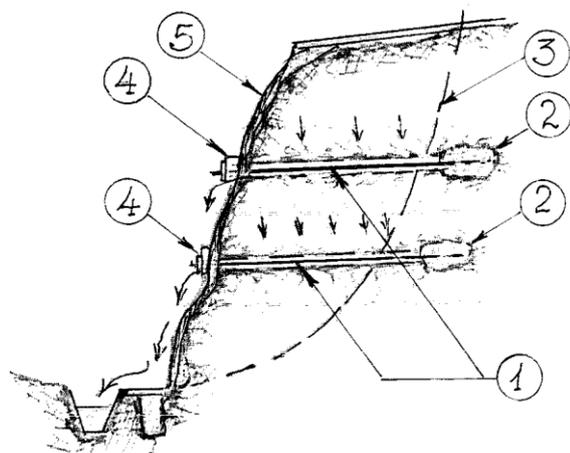
Традиционно для осушения грунта применяются дренажные системы, а устойчивость откосов осуществляется строительством подпорных стенок и закладкой грунтовых анкеров (см. рис. 3).



**Рис. 3. Обеспечение устойчивости дорожных откосов заземленной в основании подпорной стенкой и грунтовым анкером:**  
 1 – анкерная тяга; 2 – корень анкера из серобетона с заделанной анкерной тягой; 3 – подпорная стенка; 4 – устройство, фиксирующее анкерную тягу



**Рис. 4. Дренажный грунтовый анкер с полый перфорированной дренажной трубой:**  
 1 – анкерная тяга; 2 – корень анкера из серобетона с заделанной анкерной тягой; 3 – плоскость скольжения грунта при обрушении откоса; 4 – дренажная полый перфорированная труба; 5 – трубка (шланг) для отвода фильтрующей грунтовой воды; 6 – влага, фильтрующая из грунта; 7 – опорная плита анкера; 8 – устройство, фиксирующее анкерную тягу; 9 – отверстие для истечения влаги



**Рис. 5. Поярусное расположение дренажных грунтовых анкеров на закрепляемом откосе:**  
 1 – анкерная тяга; 2 – корень анкера из серобетона с заделанной анкерной тягой; 3 – плоскость скольжения при обрушении грунта откоса; 4 – устройство, фиксирующее анкерную тягу; 5 – защитная противозерозионная мембрана на откосе, выполненная из торкрет-бетона по металлической сетке.

В [6] предлагается устройство, совмещающее функции как грунтового анкера, так и дренажной системы. Известными методами производится погружение и заделывание на проектной глубине в грунте корня анкера с арматурной тягой. На участке анкера от опорной плиты на поверхности откоса и до корня анкера в его теле

устраивается дренажная система, позволяющая движению в ней фильтрующейся грунтовой воды. Истечение дренирующей грунтовой воды из предлагаемого в способе совмещающего устройства осуществляют либо через отверстия в распределительной опорной плите части устройства, выполняющего функцию анкера, либо через трубку или штраб, проходящие вне опорной плиты (см. рис. 4 и 5). Технический результат заключается в одновременном уменьшении влажности грунта откоса, увеличении плотности грунта и в противодействии смещению грунта. Для ускорения процесса закладки анкера при устройстве корня анкера вместо обычного бетона можно также использовать серобетон.

Для оперативного применения серных бетонов и растворов в экстремальных ситуациях их можно транспортировать на необходимое место в виде готовых, перемешанных сухих смесей, например в металлической таре. Разогрев готовых сухих смесей до требуемой температуры можно производить на месте использования в той же металлической таре.

На местности, потенциально опасной воздействиям стихийных явлений, можно хранить заранее заготовленные перемешанные сухие смеси серных бетонов и растворов для предотвращения или ликвидации последствий проявления стихии.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Патуров В.В. Полимербетоны. М.: СИ. 1987.
2. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. М.: СИ. 1986.
3. Шестоперов С.В. Дорожно-строительные материалы. М.:Высшая школа. 1969.
4. Гончарова Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов. Изд-во Московского университета. М. 1973.
5. Лоладзе Г.В., Лоладзе В.В. Способ закрепления грунтов. Патент № U1490. Официальный Бюллетень Промышленной собственности. № 23(367). 2008. Тбилиси.
6. Лоладзе Г.В., Лоладзе В.В. Грунтовой анкер для укрепления откосов. Патент № P 5294. Официальный Бюллетень Промышленной собственности. № 18. 2011.09.26. Тбилиси. 2011г.