

На правах рукописи



Слепнев Павел Алексеевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ БЕРЕГОВ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

(на примере прудов г. Москвы)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидат технических наук

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»

22 СЕН 2008

Москва 2008

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Московском государственном строительном университете

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Щербина Елена Витальевна
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Боровков Валерий Степанович кандидат технических наук Быковский Дмитрий Владимирович
Ведущая организация	ГУП МосводоканалНИИпроект

Защита диссертации состоится 25 сентября 2008 г. в 16.00 на заседании диссертационного совета Д 212.138.07 при ГОУ ВПО Московском государственном строительном университете по адресу: 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, МГСУ, Зал заседаний Ученого Совета (1 этаж административного здания)

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО Московского государственного строительного университета.

Автореферат разослан 22 августа 2008 года

Ученый секретарь диссертационного
совета

Потапов А.Д

Общая характеристика работы.

Актуальность работы: Система водных объектов г. Москвы является частью природной среды города, выполняет градообразующие, инженерные и экологические функции, формирует ландшафтный облик города, осуществляет отвод поверхностного и дренажного стока. Однако, пойменные территории трансформированы, подвержены оползневым и эрозионным процессам. Увеличение антропогенной нагрузки (расширение площадей застройки, развитие дорожной сети и т.д.) вызывает нарушение естественных гидрологических и геологических условий территории, которые влекут за собой изменения режима подземного и поверхностного стока дождевых, талых и поливочных вод, угнетение растительного покрова. Это приводит к уменьшению инфильтрации воды и, как следствие, увеличению количества поверхностного стока и скоростей потоков. Последствием этого становится интенсификация эрозионно-склоновых и эрозионно-руслowych процессов.

Эрозионные процессы оказывают негативное влияние на общеэкологическую ситуацию всей территории водосборного бассейна. Как правило, при оценке негативного воздействия эрозии главное внимание уделяется потерям плодородия почв. При этом игнорируются другие последствия: разрушение берегов, заиление и загрязнение водоемов, нарушение структуры и снижение устойчивости ландшафта к негативным воздействиям. Однако при правильной организации, культурный ландшафт, как часть системы озеленения прибрежных территорий, способствует восстановлению и оздоровлению среды обитания человека и биосферы в целом. Поэтому работа, направленная на обеспечение экологической безопасности береговой зоны водных объектов актуальна, содержит научную новизну и имеет практическое значение.

Цель работы – обеспечение экологической безопасности берегов водных объектов, подверженных развитию эрозионно-руслowych процессов, на основе оптимизации противоэрозионных мероприятий и конструкций.

Для достижения поставленной цели нами были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Выполнен аналитический обзор и анализ фактического состояния проблемы, разработана методологическая схема исследования, обоснованы методы и средства для достижения поставленной цели.
2. На основании данных литературных источников, фондовых материалов и геоэкологического обследования водных объектов г.Москвы определен аналоговый объект натурного моделирования – Нижний Царицынский пруд.
3. Разработана математическая модель прогноза развития эрозионно-русловых процессов на водных объектах г. Москвы.
4. Разработана конструкция инженерной защиты, технология изготовления и монтажа, основанные на анализе жизненного цикла природно-технической системы (ПТС) «ВОДОЕМ».
5. Обоснована методика расчета устойчивости геоконпозиционных систем на берегах водных объектов.
6. Разработана программа проведения экспериментальных исследований и мониторинга.
7. Реализован крупномасштабный натурный эксперимент для обоснования теоретических положений и выводов диссертации.

Объект исследования диссертационной работы – природно-техническая система, включающая биотоп, прибрежную зону и конструкцию инженерной защиты берегов.

Предмет исследования – методы защиты берегов водных объектов от развития эрозионно-склоновых и эрозионно-русловых процессов.

Рабочая гипотеза заключается в том, что применение геоконпозиционных систем служит эффективным средством инженерной защиты берегов водных объектов, подверженных эрозионно-склоновым и эрозионно-русловым процессам, позволяющим обеспечить устойчивость природно-технической системы, условия гомеостаза и экологическую безопасность.

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что:

1. Показано, что механизм развития эрозионных процессов на берегах малых водоемов различен и зависит от положения уровня водной поверхности. На основании теоретических исследований и натуральных наблюдений проведено зонирование берегов в зависимости от характерных нагрузок, воздействий и подверженности геологическим процессам и явлениям;
2. Разработана экспериментально обоснованная модель критического развития эрозионно-склоновых и эрозионно-руслowych процессов, учитывающая зональность берегов водоемов;
3. На основе теоретических исследований и результатов натурального эксперимента разработана конструкция, технология изготовления и монтажа противозерозийного экрана, обеспечивающая защиту берегов водных объектов и позволяющая предотвратить развитие эрозионных процессов на берегах водных объектов.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что:

- Математическая модель, предложенная автором, рекомендована для прогноза развития эрозионно-склоновых процессов на берегах водоемов при проектировании инженерной защиты;
- Изготовлен опытный образец защитного экрана, прошедший натурные испытания и готовый промышленному использованию.

Обоснованность и достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается данными теоретических исследований и сопоставительным анализом результатов натурального эксперимента на объекте аналоге.

На защиту выносятся:

1. Методика зонирования берегов водных объектов.
2. Экспериментально обоснованная модель критического развития эрозионно-склоновых и эрозионно-руслowych процессов, учитывающая зональность берегов водоемов;

3. Технологический регламент изготовления и монтажа конструкции инженерной защиты;
4. Результаты натурного моделирования, обосновывающие теоретические исследования и эффективность использования геокомпозиционных систем, изготовленных на основе геосинтетических материалов, как оптимальной конструкции противозрозионной защиты берегов водных объектов.

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Апробация работы. Основные результаты и положения работы докладывались и обсуждались на: Третьей международной (VIII традиционной) научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов «Строительство - формирование среды жизнедеятельности» (Москва 25-26 мая 2005 г.); научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях» (Москва 2005г.); Тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан» (Москва 9-10 ноября 2005 года); Международной научно-технической конференции «Экология урбанизированных территорий» (Москва 15-16 июня 2006).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, библиографии, изложена на 143 страницах машинописного текста, включая 32 рисунка, 23 таблицы, список литературы из 110 наименований, в том числе 17 на иностранном языке.

Работа выполнялась в Московском государственном строительном университете на кафедре «Экология ГСХ» и НП и УЦ «Экогеос» МГСУ.

Автор глубоко благодарен профессору кафедры Экология ГСХ МГСУ д.т.н. Щербине Елене Витальевне, под руководством которой проводилась научно-исследовательская работа; заведующему кафедрой «Экология ГСХ» проф., д.т.н. Кононовичу Ю.В. и коллегам за постоянную помощь и поддержку в работе.

Введение содержит аргументы, подтверждающие актуальность темы диссертационной работы, обоснование постановки цели и задач исследования, научную новизну и практическую значимость диссертационной работы.

В **главе 1** изложены результаты аналитического обзора современного геоэкологического состояния берегов водных объектов г. Москвы и способов защиты берегов от развития опасных экзогенных процессов. Выполненные исследования показали, что водные объекты представляют собой комплекс природных водотоков, водоемов и инженерных объектов, которые совместно с прилегающими территориями составляют значительный экологический, градостроительный и рекреационный потенциал города.

Немаловажным фактором, оказывающим негативное воздействие на состояние водных объектов, являются экзогенные геологические процессы (ЭГП), развивающиеся на берегах и в русле водных объектов. Существенной формой проявления ЭГП связанных с действием поверхностных вод, вызывающей ухудшение экологического состояния городских водных объектов и экологической напряженности является проявление эрозионно-склоновых и эрозионно-руслowych процессов. Проблеме изучения эрозионных процессов посвятили свои работы В. М. Лохтин, Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов, В.Н. Гончаров, В.М. Кутепов, В. С. Боровков, В.С. Круподеров, В.В. Волшанник и др.

В работе показано что, для оптимизации проектного решения укрепления берегов водоемов следует учитывать, что по отношению к уровню воды в водных объектах береговые склоны делят на три зоны: надводная (незатопляемая), переменного уровня (затопляемая) и подводная. Отличия которых проявляются в особенностях развития ЭГП, а также в нагрузках и воздействиях воспринимаемых инженерной защитой. Характерные эксплуатационные параметры зон приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эксплуатационные особенности различных зон берегов водных объектов			
Зона	Процессы и явления	Нагрузки	Воздействия
1 (незатопляемая)	Эрозионно-склоновые Плоскостная и овражная эрозия	Гидравлическая, снеговая, ледовая	Ультрафиолет, температура, антропогенная
2 (переменная)	Эрозионно-склоновые эрозионно-русловые процессы Переработка берега	Гидравлическая, снеговая, ледовая, волновая	Возможно химическая, биологическая
3 (затопляемая)	Эрозионно-русловые процессы Русловая эрозия	Гидравлическая	Химическая, биологическая

В соответствие с этим разделением различают берегозащитные устройства: незатопляемые – для защиты от воздействия поверхностного стока; переменного уровня - для защиты от подтопления и размыва при проходе высоких вод; затопляемые – для защиты от подтопления и размыва при проходе меженных и среднемеженных вод.

В настоящее время для предотвращения размывов берегов и защиты от развития эрозионных процессов применяются различные конструкции (бетонная облицовка, свайно-заборчатая стенка из бревен лиственницы, каменная наброска, матрасы Рено и др.). Однако использование этих решений не всегда оказывается эффективным, т.к. они рассматриваются вне связи с водоемом. Нами предложено определять конструкцию инженерной защиты берегов водоемов рассматривая с позиции устойчивости ПТС «ВОДОЕМ».

Природная составляющая ПТС «ВОДОЕМ» определяется самим водным объектом (пруд, река, озеро), который можно рассматривать как среду обитания живых организмов (природную систему, способную к самовосстановлению). Техногенная составляющая включает конструкцию инженерной защиты и технические системы, обеспечивающие устойчивое функционирование ПТС.

Обобщение положительных и отрицательных сторон приемов инженерной защиты, позволяет выделить необходимые требования к их конструкции.

Во-первых, необходимо исходить из того, что для долговременной эффективной защиты берегов от эрозионных процессов необходимо создать устойчивую саморазвивающуюся природно-техническую систему.

Во-вторых, конструкция инженерной защиты должна обладать значительной гибкостью, чтобы обеспечить плотный контакт с защищаемой поверхностью.

В-третьих, конструкция должна обеспечивать технологичность монтажа и быть ремонтпригодной.

Анализ конструкций инженерной защиты показал, что наиболее полно вышеизложенным требованиям отвечают геокомпозиционные системы на основе геосинтетических противозрозионных матов (геоматов). В табл. 2 приведены данные сопоставительного анализа основных свойств геоматов, которые наиболее значимы при проектировании инженерной защиты.

Таблица 2

Сравнение технических показателей различных противозрозионных матов.

	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4
Сырье	Полиамид	Полипропилен	Полипропилен	Полипропилен
Метод скрепления элементов	Термоскрепление	Термо скрепление	Термо скрепление	Плетение
Плотность полимера, г/м ²	400	600	670	480
Температура плавления, °С	214	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Устойчивость к воздействию температур, °С	-55 °С до +80 °С	Хрупкий при t < -12°С	Хрупкий при t < -12°С	Хрупкий при t < -12°С
Толщина при давлении 2 кПа, мм	18	Н.д.	20	Н.д.
Прочность, кН/м				
в продольном направлении	1,9	2,0	1,9	40
в поперечном направлении	2,4	Н.д.	1,0	40
Пористость, %	95	90	90	90

Учитывая особенности нагрузок и воздействий, характерных для различных зон работы конструкции инженерной защиты (табл. 1) в работе

показана целесообразность использования в качестве основы (матрицы) геокомпозиционной системы геоматов изготовленных на основе полиамида.

В главе 2 выполнены аналитические исследования, позволяющие выявить опасность проявления и дать прогноз развития во времени эрозионных процессов на берегах водных объектов.

Проблеме прогноза развития эрозионных процессов посвящены исследования целого ряда авторов (Н.Н. Павловского, В.Н. Гончарова, В.С. Кнороза, Ц.Е. Мирцхулавы, В.С. Боровкова и др.). Среди них в практике прогноза развития эрозионных процессов используются обобщенные эмпирические данные, полученные Н.И. Маккавеевым и Б.П. Любимовым, а также зависимость, полученная Ф. Хюльстремом на основе экспериментальных исследований. В работе за основу принята методика Ц.Е. Мирцхулавы.

Теоретические зависимости, описывающие указанные виды, выражаются в следующих формулах:

$$V_c = \lg \frac{8,8H}{d} \omega = 1,41 \cdot V_n, \quad (1)$$

где V_c – срывающая скорость; V_n – несдвигающая скорость; H – глубина потока (для плоского потока $H = R$, R – гидравлический радиус потока); d – диаметр зерен; ω – гидравлическая крупность зерен при стандартном (турбулентном) режиме обтекания.

Гидравлический радиус является важнейшей характеристикой потока и определяется по следующей зависимости:

$$R = \left(\frac{Qn}{3\sqrt{tg\alpha}} \right)^{\frac{1}{1,5\sqrt{n}+2,18}}, \quad (2)$$

где Q – расход воды (m^3/c), при отсутствии грунтовых вод, зависит от количества атмосферных осадков; n – коэффициент гидравлической шероховатости, зависящий от высоты шероховатости поверхности русла при безгрядном режиме; α – угол уклона поверхности.

Одним из основных показателей, характеризующих поведение частиц в водном потоке, служит гидравлическая крупность:

$$\omega = \sqrt{\frac{2[gd(\gamma_z - \gamma_w) + 1.25(C_{p.c.} + \sigma_{наб})]}{1.75\gamma_w k}}, \quad (3)$$

где g - ускорение свободного падения, m/c^2 ; γ_z - удельный вес грунта, kH/m^3 ; γ_w - удельный вес воды, kH/m^3 ; d - диаметр зерен, m ; $C_{p.c.}$ - расчетное наименьшее возможное сопротивление связного грунта на разрыв, Pa ; k - коэффициент перегрузки; $\sigma_{наб}$ - напряжение, вызванное набуханием.

Для учета неоднородности $C_{p.c.}$ можно представить как произведение нормативного (среднего) сопротивления $C_{p.c.}^n$ на коэффициент однородности K , характеризующий изменчивость показателя прочности грунта.

$$C_{p.c.} = KC_{p.c.}^n, \quad (4)$$

Вследствие динамического воздействия турбулентного потока на агрегат за нормативное сопротивление следует принимать предел прочности на разрыв при динамической нагрузке C_y^H . Этот показатель устанавливается по опытным данным усталости связных грунтов, а при отсутствии их приближенно можно определять по зависимости от статической прочности сцепления грунта, определяемой по вдавливанию сферического штампа:

$$C_y^H = 0.035C, \quad (5)$$

При отсутствии данных экспериментальных измерений статической прочности грунта ее можно вычислить в зависимости от среднего диаметра частиц:

$$C = \frac{3,3}{d^{0,65}} \quad (6)$$

Данное выражение получено путем математических вычислений, за основу которых принято предположение, что каждому типу грунта соответствует своя крупность зерен.

При рассмотрении процессов, связанных с действием русловых потоков, подразумевается, что глубина потока всегда больше диаметра зерен, однако это не всегда справедливо для потоков, вызывающих эрозионные процессы на склонах (зона 1).

Для несвязных грунтов Алексеев А.А. предложил определить взвешивающее действие воды на частично погруженные зерна. Для этого следует принять допущение, что зерна имеют форму шара. Это значит, что можно использовать безразмерные коэффициенты соотношения объемов подводной (kv_n) и надводной (kv_n) частей зерна. Из уравнений объема шара и объема шарового сегмента эти коэффициенты будут равны:

$$kv_n = \frac{\frac{4\pi}{3} \left(\frac{d}{2}\right)^3 - \pi(d-R)^2 \left(\frac{d}{2} - \frac{d-R}{3}\right)}{\frac{4\pi}{3} \left(\frac{d}{2}\right)^3}, \quad (7)$$

$$kv_n = \frac{\pi(d-R)^2 \left(\frac{d}{2} - \frac{d-R}{3}\right)}{\frac{4\pi}{3} \left(\frac{d}{2}\right)^3}. \quad (8)$$

Однако в случае, когда $R \leq \frac{d}{2}$, т.е. частица погружена в воду меньше чем на половину (характерно для дождей небольшой интенсивности, когда величина инфильтрации приближается к нулевой отметке и начинает образовываться поверхностный сток), получено:

$$kv_n = \frac{\pi(d-R)^2 \left(\frac{d}{2} - \frac{d-R}{3}\right)}{\frac{4\pi}{3} \left(\frac{d}{2}\right)^3}, \quad (9)$$

$$kv_n = \frac{\frac{4\pi}{3} \left(\frac{d}{2}\right)^3 - \pi(d-R)^2 \left(\frac{d}{2} - \frac{d-R}{3}\right)}{\frac{4\pi}{3} \left(\frac{d}{2}\right)^3}. \quad (10)$$

Таким образом, при условии $d \geq R$ формулы (1) и (3) примут вид:

$$V_c = \lg \frac{8.8R}{dkv_n} \omega = 1.41 V_n, \quad (11)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2[gd(kv_n(\gamma_s - \gamma_n) + kv_n\gamma_s)(\cos \alpha - \sin \alpha) + 1.25C_y K J]}{1.75k\gamma_n}} \quad (12)$$

Сопоставление значений критических скоростей с фактическими средними скоростями позволяет оценить эрозионную устойчивость склонов и выявить необходимость их дополнительного укрепления.

Выполненная работа по математическому моделированию эрозионных процессов позволила установить следующие графические зависимости (рис. 1).

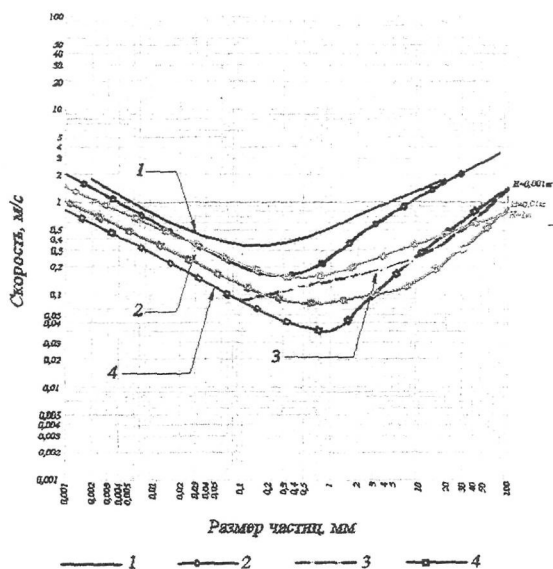


Рис. 1. Зависимость критических скоростей от размера частиц и глубины потока.

1 - Зависимость, построенная по обобщенным эмпирическим данным, приведенным Маккавеевым Н. И. и Любимовым Б.П.

2 - Зависимость, построенная Хьюлстромом по экспериментальным данным.

3 - Зависимость, установленная Алексеевым А.А. для несвязных грунтов.

4 - Зависимости, построенные по результатам математического моделирования автора (кривые развития эрозионных процессов приведены в зависимости от глубины потока Н).

В работе разработана методика расчета устойчивости геокomпозиционной системы, учитывая особенности выделенных зон.

Для первой зоны (рис. 2) устойчивость системы будет обеспечена, если выполняется условие:

$$\sum F_{yo} = \sum F_{co} k_n, \quad (13)$$

где

$\sum F_{yo}$ – сумма удерживающих сил (кН);

$\sum F_{co}$ – сумма сдвигающих сил (кН);

k_n – коэффициент запаса.

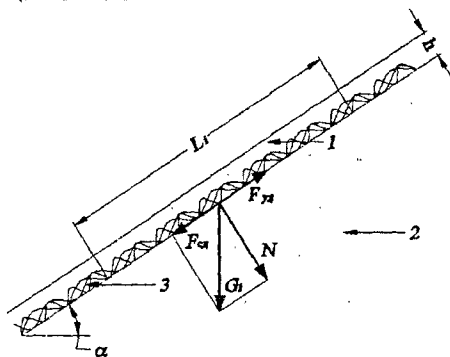


Рис. 2. Принципиальная расчетная схема устойчивости геокomпозиционной системы. 1-почвенно-растительный слой, снег и др.; 2-грунт основания; 3 – матрица геокomпозиционной системы.

Сдвигающие силы зависят от давления собственного веса наполнителя геокomпозиционной системы:

$$\sum F_{co} = F_{co}, \quad (14)$$

$$F_{co} = G_1 \sin \alpha, \quad (15)$$

где: G_1 – вес элементарной секции геокomпозиционной системы; α – угол заложения откоса;

Вес элементарной секции геокмпозиционной системы G , с учетом снеговой нагрузки:

$$G_i = (\gamma_n h_n + \gamma_{cn} h_{cn}) L_i, \quad (16)$$

где: γ_n – плотность наполнителя геокмпозиционной системы (кН/м^3); γ_{cn} – плотность снежного покрова (кН/м^3); h_n – толщина геокмпозиционной системы (м); h_{cn} – толщина снежного покрова (м).

В расчете для второй зоны необходимо учитывать дополнительные нагрузки, проявляющиеся в теплый период в виде стока от наката волн, зимой – при температурном расширении льда.

В летний период сдвигающее усилие будет равно:

$$\sum F_{cd} = F_{ca} + F_w, \quad (17)$$

F_{ca} – сдвигающее усилие;

F_w – сила от гидравлического действия стока воды от наката волн;

Гидравлическое действие поверхностного стока постоянно образующегося от наката волн определяется как:

$$F_w = 0.5 \cdot \gamma_w \cdot \gamma_{sk} \cdot i \cdot h_w \cdot l, \quad (18)$$

где γ_w – удельный вес воды; γ_{sk} – коэффициент запаса, 1,3; i – гидравлический градиент, для откосов с углом заложения α – $i = \sin \alpha$; h_w – высота слоя воды, м; l – длина пути стока, м.

В зимний период линейная нагрузка $F_{л}$, на сооружение от воздействия сплошного ледяного покрова при его температурном расширении, увеличивающая удерживающее усилие определяется по формуле:

$$F_{л} = h_{max} k_l p_l, \quad (19)$$

где h_{max} – максимальная толщина ледяного покрова, м; k_l – безразмерный коэффициент; p_l – давление за счет упругой и пластической деформаций, МПа, при температурном расширении льда.

Глава 3 посвящена характеристике объекта натурального моделирования Нижнего Царицынского пруда и разработке оптимального варианта

конструкции инженерной защиты направленной на стабилизацию эрозионных процессов.

В геологическом строении территории Нижнего Царицынского пруда принимают участие породы юрского, мелового и четвертичного возраста. Однако, учитывая специфику данной работы, рассмотрены только поверхностные слои.

Современные аллювиальные отложения поймы (aIV) развиты в долинах рек Чертановки и Городни. Отложения представлены песками от пылеватых до крупнозернистых, с включением гальки, глинистого или илистого материала. Покровные отложения (рп II-III) развиты повсеместно за исключением долин. Породы представлены суглинками мощностью 2 - 4 м.

На основании наблюдений за уровнем воды в Нижнем Царицынском пруде автором было проведено зонирование берега по методике, представленной в главе 1 (рис. 3).



Рис. 3. Зонирование береговой территории объекта натурных наблюдений

В работе рассмотрены 4 основных варианта берегоукрепления.

Вариант 1. Для пологих берегов. Использована планировка надводных откосов с посевом травы по растительному слою. Подводные откосы закреплены отсыпкой цеолитом фракции 30-50мм, слоем 150мм.

Вариант 2. В зоне 1 берег крепится объемными геосинтетическими матами с заполнением растительным грунтом 100 мм и посевом трав. В зоне 3 устраивается подводная свайно-заборчатая стенка.

Вариант 3. В местах повышенного скоростного режима движения воды в пруде и по эстетическим соображениям предусматривается устройство однорядной свайной стенки из бревен лиственницы.

Вариант 4 (разработка автора). Укрепление разработано с учетом зонирования берега. Матрица геокомпозиционной системы непрерывна во всех трех зонах.

Для первой зоны в качестве заполнителя принята смесь растительного грунта и семян растений. Для второй и третьей зоны заполнитель имеет следующий состав: гранитный щебень фракции 2-6 мм, резиновая крошка фракции 2-6 мм, в качестве связующего заполнителя использована битумная эмульсия.

Для изготовления геокомпозиционной системы использовались следующие материалы и инструменты: геосинтетический материал; щебень фракции 2-6 мм; резиновая крошка фракции 2-6 мм; битумная эмульсия; раствор карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ); лопаты; грабли; лейки; ножницы.

Геосинтетические маты предварительно разрезались на куски длиной 5 метров (данная длина обусловлена результатами изучения изыскательской документации и натурных наблюдений). Затем матрица укладывалась на ровную поверхность. После этого маты вручную заполнялись заранее приготовленной смесью щебня и резиновой крошки в соотношении 4:1. Заполнение смесью осуществлялось на длину 3м, которые планировалось уложить под воду. Оставшиеся 2 м матрицы в лаборатории не заполнялись, т.к. предназначены для защиты от эрозии части берегового откоса, находящегося выше зеркала воды.

Заполнитель с помощью граблей равномерно распределялся в структуре матрицы и уплотнялся с помощью ручного катка. Излишки заполнителя удалялись. После чего вся система проливалась связующим:

- битумной эмульсией или
- 20 % раствором карбоксиметилцеллюлозы.

Подготовленные образцы были оставлены на площадке. Отмечено, что срок высыхания битумной эмульсии составляет 48 часов, раствора карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) не менее 100 часов.

Расход связующего (битумной эмульсии и раствора КМЦ) составил 3 л/м².

После высыхания образцы сворачивались в рулоны и доставлялись на опытный участок. Свертывание в рулоны осуществлялось со стороны заполненного края образцов. Вес каждого рулона составил около 30 кг.

Процесс укладки образцов на опытном участке разделился на три стадии: подготовительный этап, монтаж и благоустройство.

В подготовительный этап включались следующие работы:

- очистка поверхности от имеющихся растений;
 - выравнивание береговой линии и планировка поверхности;
 - уплотнение грунта ручным катком;
 - посев семян многолетних трав
- устройство анкерной канавы шириной 30 см и глубиной 30 см на расстоянии 0,5 м от бровки откоса;

Второй этап - укладка (монтаж) образцов на береговом откосе осуществлялся в следующей технологической последовательности:

- свернутый рулон укладывался на верхней бровке откоса;
- незаполненный край образца размещался в анкерной канаве и закреплялся металлическими нагелями с шагом 0.5м;
- рулон раскатывался до линии уреза воды и натягивался, обеспечивая плотное прилегание мата к поверхности защищаемого откоса;
- образцы закреплялись металлическими нагелями по всей длине откоса с шагом 1 м, который обоснован расчетом устойчивости;
- под водой раскатывалась оставшаяся часть рулона и закреплялась металлическими нагелями;

- на линии уреза воды опытные образцы закреплялись металлическими нагелями с шагом 50 см;
- для дополнительного пригруза образцов под водой, после его укладки отсыпался щебень фракции 30-60 мм в один слой.

Стыковка образцов осуществлялась путем нахлеста. Величина нахлеста составила:

- на прямолинейных участках 0,1 м;
- на поворотах береговой линии до 0,5 м (на бровке откоса).

После укладки и закрепления образцов были проведены работы по благоустройству в состав которых вошли следующие виды работ:

- обратная засыпка анкерной канавы и уплотнение грунта обратной засыпки;
- засыпка незаполненной поверхности образцов растительным грунтом;
- посев семян многолетних трав;
- уплотнение поверхности ручным катком;
- полив.

После проведения работ по устройству защитного экрана был организован мониторинг за приведенными выше типами берегоукрепления.

В главе 4 приведена программа, методика и представлены результаты наблюдений.

Мониторинг разбит на пять периодов, каждый из которых обусловлен климатическими факторами, влияющими на развитие эрозионных процессов, протекающих на водоеме. Календарный план наблюдений представлен в таблице 3.

Таблица 3

Календарный план наблюдений	
№ периода наблюдений	Календарный план наблюдений
1	01.09.2006 – 06.10.2006
2	06.10.2006 – 17.10.2006
3	17.10.2006 – 28.02.2007
4	28.02.2007 – 10.03.2007
5	10.03.2007 – 06.10.2007

Основные параметры наблюдений заносились в метеорологический журнал (табл. 4).

Таблица 4

Основные изменяемые параметры объекта наблюдений

Параметры	1 период	2 период	3 период	4 период	Периодичность измерений
Количество жидких осадков мм/сут	+	-	+	+	1 раз в сутки
Среднесуточная температура, °С	+	+	+	+	1 раз в сутки
Величина снежного покрова, м	-	+	+	-	1 раз в неделю
Мощность льда, м	-	+	+	-	1 раз в неделю
Антропогенная нагрузка, чел/сут	+	+	+	+	1 раз в сутки

Примечание: «-» - наблюдения и фиксирование не проводятся ввиду отсутствия измеряемых параметров.

Параллельно с метеорологическими, проводились визуальные наблюдения с фотофиксацией (было сделано более 100 снимков). Обработка данных визуальных наблюдений проводилась путем сопоставления их с результатами обработки метеорологических данных.

Данные мониторинга позволили выявить основные процессы, явления, повреждения и разрушения характерные для всех типов берегоукрепления.

Первый период наблюдений (достроительный) показал что в период интенсивного выпадения осадков, образования поверхностного стока и повышения уровня воды в пруде начали проявляться эрозионные процессы.

Во второй период наблюдений (с момента начала производства работ до образования снежного покрова) развитие эрозионных процессов на участке (вариант 4) не наблюдалось. Геокомпозиционная система препятствует развитию эрозионных процессов, деформация береговой линии отсутствует. На участках, где берегоукрепление выполнено по вариантам 1, 2 и 3 развитие эрозионных процессов продолжается и выражается в деформации и локальных разрушениях береговой зоны.

Третий период наблюдения включал три этапа. Первый этап с 17 октября по 15 ноября 2006 года, второй этап с 15 ноября 2006 года до 20 января 2007 года, третий этап с 20 января по 28 февраля 2007 года.

В первый этап наблюдалась отрицательная температура и накопление снежного покрова. В данный период в зоне 1 приостановилось развитие эрозионных процессов на всех наблюдаемых участках.

Второй этап наблюдений обусловлен не характерными для Московского региона положительными температурами для данного периода времени и интенсивными дождями, что привело к дальнейшему развитию эрозионных процессов на трех участках с берегоукреплением, выполненным по вариантам 1, 2 и 3.

На участках (вариант 1 и 2) наряду с непрекращающимися деформациями береговой линии, начался смыв грунта в первой незатопляемой зоне. Это обусловлено увеличением количества поверхностного стока, причиной которого являлись продолжительные дожди. На участках (вариант 4) эрозионные процессы не наблюдались.

Третий этап обусловлен характерными для зимы отрицательными температурами, увеличением снежного покрова и становлением льда. Эрозионные процессы остановились.

Четвертый период обусловлен наличием большого количества талых вод, стекающих по склонам. Основное внимание было уделено устойчивости геоконструкционной системы к потокам, возникающим в результате интенсивного снеготаяния в весенний период. Данный период характеризуется большим объемом талых вод и пониженной инфильтрационной способностью подстилающих грунтов в результате промерзания их верхних слоев.

Пятый период наблюдений (с момента завершения процесса весеннего снеготаяния и до окончания годового цикла наблюдений) был отмечен воздействием следующих факторов:

- выпадение осадков в виде дождей большой интенсивности;
- принудительное понижение уровня воды в пруде;
- развитие растительного покрова на защищенных участках берегов.

Уровень воды был пониженным в течение трех месяцев, в связи с этим развитие эрозионно-русловых процессов на всех наблюдаемых участках приостановилось. При понижении уровня воды в пруде была выявлена деформация береговой линии и разрушение конструкций берегоукрепления, выполненных по вариантам 1 и 2.

Состояние участка (вариант 4) на момент проведения пятого этапа наблюдений оставалось стабильным. Наблюдалось интенсивное развитие растительности и небольшая деформация береговой линии, которая вероятно связана с консолидацией грунтов.

По результатам годичного цикла натуральных наблюдений можно заключить, что мероприятия по защите берегов Нижнего Царицынского пруда от эрозионных процессов, основанные на устройстве разработанной геоконпозиционной системы дали положительные результаты. Использование геоконпозиционной системы позволило обеспечить эффективную защиту как надводной, так и подводной части откосов от размыва. В период образования и развития растительности в первой зоне структура геоконпозиционной системы позволила препятствовать развитию эрозионных процессов. При устройстве геоконпозиционной системы, в качестве инженерного мероприятия по защите берегов, были обеспечены условия для образования устойчивого растительного покрова, что в свою очередь привело к прекращению развития эрозионных процессов на их поверхности, и подтверждено результатами наблюдений.

Общие выводы

1. Возрастание антропогенной нагрузки на водные объекты г. Москвы приводит к активизации эрозионно-склоновых процессов, разрушению их берегов и деградации природных систем, что определяет возрастающую актуальность задачи разработки дружественных окружающей среде методов и средств инженерной защиты, основанных на рассмотрении объекта как природно-технической системы. Проведенное сопоставление геоэкологического состояния объекта исследования и других прудов г. Москвы показало, что данный объект и полученные результаты могут быть использованы в качестве аналогов при восстановлении и экологической реабилитации прудов, озер и малых рек со скоростью течения воды не более 0,05-0,1 м/с.
2. В результате анализа геоэкологических условий выполнено зонирование берегов водных объектов по характеру нагрузок, воздействий, процессов и

явлений, определяющих особенности развития эрозионно-склоновых процессов, что позволяет оптимизировать конструкцию инженерной защиты.

3. Автором предложена и апробирована на реальном объекте математическая модель, позволяющая определить критическую скорость в зависимости от глубины потока и крутизны склона, что дает возможность прогнозировать развитие эрозии и эрозионную устойчивость грунтов. Полученные результаты дополняют классические представления и эмпирические зависимости Н.И. Макавеева и Б.П.Любимова. Использование модели позволяет определить необходимость разработки берегозащитных мероприятий на начальном этапе разработки проекта реабилитации водного объекта.
4. Выполненные исследования показали эффективность использования геокомпозиционных систем в конструкции инженерной защиты берегов водных объектов, включающих биотическую и абиотическую составляющие. В качестве матрицы системы используются геосинтетические материалы. Заполнитель системы определяется с учетом зонирования берегов и содержит минеральную и связующую составляющие. Биотическая составляющая геокомпозиционной системы определяется в зависимости от климатических условий и береговой зоны. Автором разработан опытный образец, технический регламент и технология производства работ.
5. В работе определен оптимальный состав минеральной и связующей составляющей геокомпозиционной системы. В качестве минеральной составляющей для зоны 1 использовался растительный грунт, для зон 2 и 3 – щебень (фракция 2-6 мм, отсеб) с добавлением резиновой крошки. В качестве связующей составляющей для зоны 1 использовался 20 % раствор карбоксиметилцеллолозы, для зон 2 и 3 – битумная эмульсия.
6. Результаты натурного моделирования обосновывают теоретические положения работы и разработанные автором конструкцию, технологию

изготовления и производства работ противозерозионного экрана, как оптимального решения с позиций обеспечения экологической безопасности ПТС «Водоем».

По теме диссертации опубликованы следующие работы.

1. Щербина Е.В., Теличенко В.И., Слепнев П.А. и др. Геосинтетические материалы: Классификация, термины и определения // Известия вузов. Строительство. №5, - 2004. с.50-55
2. Слепнев П.А. Оценка опасности эрозионно-руслowych процессов и ее роль при выборе вида инженерной защиты территории. // Механизация строительства. № 8. -М. 2007. с 29-31.
3. Щербина Е.В., Слепнев П.А. Научно-техническое обоснование и разработка конструкций геокomпозиционных систем для стабилизации эрозионных процессов. // Сборник материалов НТТМ-2005. - М., 2005. -с. 94-96
4. Слепнев П.А. Геокomпозиционные экраны для защиты от эрозии склонов, находящихся в условиях постоянного воздействия воды. // «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». Материалы конференции. - М.:МГСУ, 2005. -с.133-136
5. Щербина Е.В., Слепнев П.А. Обоснование эффективной защиты от эрозии элементов водных рекреационных объектов города. Сборник докладов тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан», М., 2005. с. 111-116
6. Слепнев П.А. Оценка опасности эрозионно-руслowych процессов, развивающихся на водоемах урбанизированных территорий. Материалы международной научно-технической конференции «Экология урбанизированных территорий». -М., 2006. с. 235-237
7. Щербина Е.В., Слепнев П.А. Инженерная защита склонов от развития эрозионных процессов. Труды юбилейной конференции «Российская геотехника шаг в 21 век». Электронный сборник. - М., 2007.

КОПИ-ЦЕНТР св. 7:07:10429 Тираж 100 экз.
тел.:8-495-185-79-54
г. Москва, ул. Енисейская, д. 36