

**Маркова Ирина Михайловна**

**ВНУТРИУСЛОВНЫЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
В ВОДОТОКАХ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

**Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Москва 2005**

Работа выполнена в Московском государственном строительном университете

Научный руководитель: кандидат химических наук  
Печников Владимир Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Сметанин Владимир Иванович;

кандидат технических наук  
Шевченко Константин Иванович

Ведущая организация: ГУП «Мосинжпроект». Институт по изысканиям и  
проектированию инженерных сооружений.

Защита диссертации состоится «06» октября 2005 года в 14<sup>00</sup>  
на заседании диссертационного совета Д.212.138.07 при Московском  
государственном строительном университете по адресу: 129337, г. Москва,  
Ярославское шоссе, д.26, зал Ученого Совета, 1 этаж административного корпуса.

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

Автореферат разослан «31» августа 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



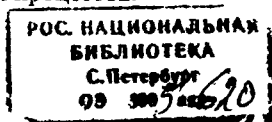
Потапов А.Д.

**Актуальность работы:** Водотоки в пределах урбанизированных территорий, являющиеся важнейшими компонентами хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения, а также зонами рекреации населения, испытывают нарастающее негативное воздействие собственно самой урбанизации, как фактора техногенеза, входя в систему отведения очищенных сточных вод и неочищенных стоков с городской территории, ухудшающих качество воды и изменяющих физико-механические свойства русловых грунтов, что нарушает гомеостаз водных экосистем в виде снижения самоочистительных и компенсационных процессов в речных руслах вследствие возрастания связности и устойчивости грунтов к размыву. Накопление загрязненных отложений в речных руслах создает предпосылки вторичного загрязнения речной воды, нарушает сложившиеся водные экосистемы, вызывают генетические изменения гидробионтов и зачастую способствует эвтрофикации и заболачиванию в условиях слабой проточности.

Внутрирусловые геоэкологические процессы – это комплекс изменений геологии и морфометрии речного русла под воздействием естественных, техногенных и антропогенных факторов, оказывающих существенное воздействие и формирующее экологическое состояние водотока в пределах урбанизированных территорий.

Устойчивое улучшение экологического состояния городских водных объектов не может быть достигнуто только за счет совершенствования технологий очистки отводимых сточных вод без направленного регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов. Разработка принципов и эффективных технологий экологического регулирования требует детального изучения этих процессов, что определяет актуальность работы.

**Цель работы** – снижение отрицательных экологических последствий, вызванных влиянием урбанизации на водотоки путем усовершенствования технологий регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов.



*Задачи диссертационных исследований* - для достижения поставленной цели определены следующие задачи диссертационной работы:

1. Изучение особенностей внутрирусловых геоэкологических процессов в водотоках на урбанизированных территориях, выявление характера и степени воздействия факторов урбанизации на изменение экологического состояния речных русел, определение темпов и характера накопления внутрирусловых отложений, а также уровня их загрязненности примесями техногенного происхождения.

2. Оценка уровня экологической опасности внутрирусловых отложений, загрязненных примесями антропогенного и техногенного происхождения с выявлением связей между качеством речной воды, количеством и загрязненностью русловых грунтов.

3. Разработка методических основ прогнозирования процессов формирования слоя внутрирусловых отложений по результатам научно обоснованных исследований осаждения взвесей при различной крупности, плотности и форме частиц.

4. Выявление физических факторов, влияющих на скорость стесненного осаждения мелкой взвеси в условиях высоких концентраций взвесей в придонной зоне потока, установление условия хлопьеобразования, влияющего на формирование русловых отложений, изменяющих геологию и морфометрию речного русла.

5. Изучение физико-механических характеристик внутрирусловых грунтов на водотоках в пределах урбанизированных зон с анализом факторов, приводящих к изменению их гранулометрического состава.

6. Исследование прочностных характеристик водонасыщенных русловых отложений с определением их вязкости, начального напряжения сдвига и сцепления, которые определяют устойчивость русловых грунтов к размыву и должны учитываться при определении технологических параметров гидравлической промывки русла.

7. Анализ эффективности различных технологий регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов, разработка предложений по усовершенствованию имеющихся и созданию новых технологий регулирования в целях устойчивого

улучшения экологического состояния водных объектов на урбанизированных территориях.

**Объект исследования диссертационной работы** – внутрирусловые геоэкологические процессы, происходящие в природно-техногенной среде, образовавшейся в водных объектах на урбанизированной территории вследствие поступления мелкодисперсных техногенных взвесей и химических примесей, изменяющих физико-механические характеристики русловых грунтов, учет которых позволяет обосновать предложения по усовершенствованию методов регулирования русловых процессов в целях улучшения экологического состояния водных объектов.

**Рабочая гипотеза** – обоснование предложений по усовершенствованию технологий очистки загрязненных речных русел для улучшения их экологического состояния на основе исследования внутрирусловых геоэкологических процессов и свойств русловых грунтов, измененных под воздействием урбанизации.

**Научная новизна результатов диссертационной работы:**

- установлена взаимосвязь между ухудшением качественных и количественных показателей экологического состояния водотоков и внутрирусловыми процессами аккумуляции взвесей и примесей техногенного происхождения в речных руслах на урбанизированных территориях, научно обоснована необходимость регулирования внутрирусловых процессов при разработке инженерных мероприятий по улучшению экологического состояния водотоков;

- установлены закономерности, определяющие в условиях влияния урбанизации процессы формирования внутрирусловых отложений в водотоках, получены новые зависимости для скорости свободного и стесненного осаждения взвесей, предложено критериальное условие хлопьеобразования, уточнена закономерность изменения крупности русловых грунтов по длине водотока и по толщине слоя внутрирусловых отложений, как факторов, формирующих геоэкологические условия биотопов водных экосистем;

- выявлены факторы, влияющие на прочностные характеристики и устойчивость к размыву внутрирусловых отложений, получены формулы для расчета сцепления между частицами мелкозернистых водонасыщенных и связных глинистых грунтов, получены данные, определяющие характер и степень водонасыщенности на прочностные характеристики русловых грунтов, формирующие геоэкологические условия водных биотопов;

- установлена связь между сцеплением грунта и критической скоростью размыва, получена формула для критической скорости, использование которой дает возможность уточнить гидравлические параметры промывки русла, как характерного процесса компенсации нарушений в гомеостазе водных экосистем;

- в целях улучшения экологической ситуации водных объектов в пределах урбанизированных территорий обоснованы предложения по модернизации существующих технологий регулирования внутрирусловых процессов, предложена новая технология, предполагающая использование струйных взмучивающих устройств и свободных мощностей городских очистных сооружений для переработки загрязненных илов, изымаемых из водотоков при регулировании внутрирусловых процессов.

### ***Практическая значимость диссертации:***

1. Полученные данные по гранулометрическому составу русловых отложений позволяют обосновать рекомендации по выделению из русловых грунтов (при очистке загрязненных русел) песчаных фракций, пригодных для использования в строительстве и городском хозяйстве.

2. Установленные зависимости для скорости осаждения техногенных взвесей позволяют повысить точность прогнозов развития внутрирусловых процессов при экологическом мониторинге городских водных объектов с применением расчетных методов прогнозирования. Эти зависимости могут быть использованы при расчетах технологического оборудования для размыва русловых отложений, перекачки взвесей и осаждении их на картах намыва, а также при совершенствовании отстойных сооружений для очистки поверхностных сточных вод, существенно влияющих на внутрирусловые геоэкологические процессы.

3. Полученные данные по прочностным характеристикам внутрирусловых отложений и критическим скоростям их размыва позволяют определить параметры гидравлической промывки русла от загрязнений при наименьших затратах воды для этих целей и усовершенствовать данную технологию регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов, в том числе с применением струйных взмучивающих устройств.

4. С учетом полученной базы данных обоснованы практические инженерные рекомендации по снижению капитальных затрат на регулирование внутрирусловых процессов с применением землечерпательных и землесосных снарядов, в том числе с обработкой водно-иловых смесей на городских очистных сооружениях в периоды недогрузки.

***На защиту выносятся:***

1. Геоэкологическое обоснование применения разработанных технологий для целей формирования гомеостаза биотопов водных экосистем.

2. Уточненные зависимости для расчета скорости осаждения взвесей, позволяющие учитывать влияние на нее формы частиц, их крупности и плотности, как факторов формирования внутрирусловых отложений.

3. Зависимости для скорости стесненного осаждения мелких взвесей техногенного происхождения при высокой их концентрации.

4. Уточненная формула для расчета сцепления мелкозернистых песчаных грунтов и зависимость для определения сцепления глинистых грунтов различной влажности и плотности.

5. Вновь разработанная формула для расчета критической скорости размыва внутрирусловых грунтов с учетом сцепления, как фактора, определяющего геолого-морфологические особенности водотока с нарушенной экологией.

6. Предложения по усовершенствованию технологий регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов, включающие гидроклассификацию изымаемых русловых грунтов для отделения речного песка с последующим использованием его в городском хозяйстве и строительстве, применение струйных взмучивающих устройств для очистки прибрежных русловых зон, использование

свободных мощностей городских очистных сооружений для обработки водно-иловых смесей при очистке речных русел.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения работы докладывались и обсуждались на:

-48 юбилейной научно – технической конференции, посвященной 75-летию МИСИ – МГСУ, по итогам НИР за 1991 – 1995 годы в области промышленного, гражданского и гидротехнического строительства. -Москва, 1996 г.;

-Второй международной (VII традиционной) научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов. – Москва, 2004 г.;

-Третьей международной (VIII традиционной) научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов. – Москва, 2005 г.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, библиографии, изложена на 149 страницах машинописного текста, включая 45 рисунков, 12 таблиц, список литературы из 154 наименований.

**Введение.** На основе аналитического обобщения литературных и фондовых источников обосновывается актуальность темы диссертационной работы, определяются цели и задачи диссертационного исследования, определяется научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

**В главе 1** рассмотрен процесс формирования донных отложений и их влияние на качество воды. Загрязнения, поступающие в водные объекты, разделяются на два класса: мутьевые (механические) и химические загрязнения.

Мутьевые загрязнения поступают с территории города в речные русла, главным образом, в теплые периоды года, когда речной сток невелик. Интенсивное водопользование, регулирование стока, искусственное изменение глубин приводят к снижению скоростей и превращают реки в пределах городов, по сути дела, в отстойники. Анализ ситуации на водотоках РФ, выполненный для 50 крупнейших городов России и водотоков различной водности показал, что ежегодно в каждом из

них аккумулируется в среднем около 5000 м<sup>3</sup> отложений, что трансформирует водотоки на участках значительной протяженности как в пределах урбанизации, так и вне ее. Суммарная длина речных русел на обследованных водотоках требующая регулирования и очистки, достигает 1,5 тыс. км.

Исследования МГСУ показали, что в русловых грунтах содержание нефтепродуктов резко возрастает к границе «грунт-вода» (Рис. 1). Качественные показатели грунтов и воды отчетливо ухудшаются по течению водотока, причем характер этого ухудшения достаточно отчетливо коррелируется с нарастанием толщины внутрирусловых отложений.

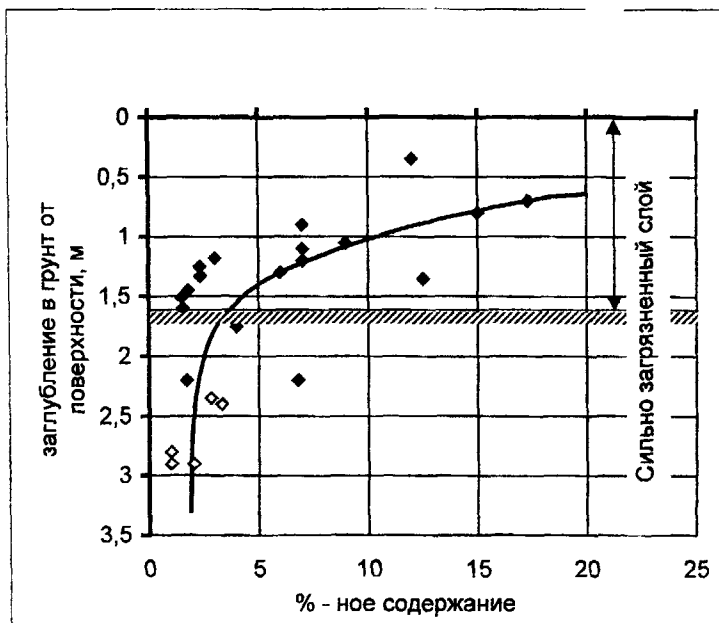


Рис. 1. Содержание нефтепродуктов в составе донных отложений (р. Москва)

По данным органов рыбоохраны в местах наибольшего скопления загрязненных русловых отложений отмечается сокращение численности и видового состава ихтиофауны и появление рыб-мутантов с отчетливыми изменениями различных органов. Таким образом, можно предположить, что загрязненные внутрирусловые отложения служат источником вторичного загрязнения воды и

ухудшают общее экологическое состояние водотоков, а значит должны быть удалены или saniрованы.

Речной поток в весенний паводок осуществляет самопромывку русла, однако, как показывает мониторинг водотоков, в условиях урбанизации самопромывка русла становится, практически, невозможной и процессы деградации речных русел приобретают необратимый характер, а это означает, что для обоснования предложений по экологическому регулированию внутрирусловых процессов следует изучить причины этих явлений. В настоящее время используются технологии регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов, основанные на землечерпании, методах гидромеханизации и гидравлической промывке русла. Анализ показал, что по многим причинам они обладают недостаточной эффективностью и не позволяют полностью решить проблему оздоровления речных русел на урбанизированных территориях. Для разработки предложений по усовершенствованию имеющихся технологий регулирования необходимо выполнить исследования процессов формирования внутрирусловых отложений, их физико-механические свойства, сведения о которых необходимы для решения вопросов размыва русловых грунтов, а также режимов работы механизмов, разрабатывающих грунты, трубопроводов для перекачки водно-грунтовых смесей, насосных станций перекачки, гидроклассификаторов, режимов осаждения взвеси на картах намыва. Эти вопросы определили основное содержание диссертационной работы.

*Глава 2* посвящена расчетно-аналитическим исследованиям процессов осаждения взвесей при различных их характеристиках, условий хлопьеобразования, а также сил сцепления, возникающих в русловых отложениях.

Важнейшей характеристикой внутрирусловых отложений является их гранулометрический состав. В естественных условиях гранулометрический состав внутрирусловых грунтов определяется сложным комплексом факторов, который исследовался Н.И. Маккавеевым, К.В. Гришаниным, А. Геймом, Штернбергом. Крупность русловых грунтов не остается неизменной по длине водотока. Попытка объяснить это явление была предпринята Штернбергом, который предположил, что

при движении зерен грунта в русле происходит их постепенное истирание. Для описания этого процесса Штернбергом была предложена экспоненциальная зависимость

$$d / d_0 = e^{-\varphi x}, \quad (1)$$

где  $x$  – расстояние от места поступления взвеси в русло реки до рассматриваемого створа;  $\varphi$  – коэффициент истираемости грунта, который изменяется от  $5 \times 10^{-3}$  до  $10^{-2}$  в зависимости от вида руслового грунта,  $d_0$  – исходный диаметр зерен в месте поступления в водоток,  $d$  – крупность на расстоянии  $x$ .

Анализ механического состава проб русловых грунтов отобранных в пределах городского участка показал, что крупность зерен грунта уменьшается по длине водотока, однако интенсивность изменения крупности не согласуется с теорией Штернберга.

Выполненное сопоставление полученных данных с известной зависимостью А. Гейма подтвердило качественную приемлемость линейной зависимости

$$\frac{d}{d_0} = 1 - cx, \quad (2)$$

и позволило установить, что коэффициент  $c \approx 0,028$ .

Результаты исследований позволяют предположить, что основной физической причиной уменьшения крупности внутрирусловых отложений в водотоке на городской территории является классификация взвесей, происходящая вследствие более быстрого осаждения крупных фракций и значительного распространения вдоль по водотоку мелких, медленно оседающих фракций.

Осаждение одиночных частиц правильной формы достаточно хорошо изучено (работы Стокса, Озена, Шлихтинга и др.). Скорость осаждения рассчитывается по формуле

$$W_0 = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{1}{C_D} \frac{\rho_T - \rho}{\rho}} \sqrt{g d_0}, \quad (3)$$

где  $\rho_T, \rho$  – плотность материала частицы и плотность воды,  $d_0$  – диаметр шара, эквивалентного частице по объему,  $C_D$  коэффициент гидродинамического

сопротивления, который сложным образом зависит от числа Рейнольдса

$$Re = \frac{W_0 d_0}{\nu}, \quad \nu - \text{кинематическая вязкость жидкости. С увеличением числа}$$

Рейнольдса влияние вязкости ослабевает, при этом коэффициент  $C_D$  стремится к некоему постоянному значению  $C_{DC}$ .

Однако эта зависимость не отражает влияния формы частицы, что особенно актуально для частиц техногенного происхождения. Общее сопротивление частицы складывается из сопротивления трения и сопротивления формы. В качестве количественной характеристики, отражающей степень развитости поверхности частиц, влияющей на сопротивление трения, предлагается безразмерный параметр

$$f = \left( \frac{d_s}{d_0} \right)^2, \quad (4)$$

где  $d_s$ ,  $d_0$  – диаметры шара, эквивалентного частице по поверхности и по объему соответственно.

В зоне автомодельности по Рейнольдсу предлагается в качестве характеристики отображающей влияние формы принять величину  $K_\phi$

$$K_\phi = \frac{C_{sc}}{C_{DC}}, \quad (5)$$

где  $C_{sc}$  – реальное сопротивление частицы в автомодельной области;  $C_{DC}$  – сопротивление шара в автомодельной области, объем которого равен объему частицы. С учетом параметров  $f$  и  $K_\phi$  при  $C_{DC} = 0,44$  выполнено преобразование формулы А.Д. Альтшуля полученной для шарообразных частиц

$$C_D = \frac{24}{Re} + \sqrt{C_{DC}} \sqrt{C_D}, \quad (6)$$

к следующему виду, учитывающему изменение поверхности и формы частиц

$$\frac{C_s}{K_\phi} = M \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{100f}{Re K_\phi}} \right)^2, \quad (7)$$

При формировании слоя внутриусловных грунтов в процессе осаждения взвесей, заключительный этап осаждения происходит в придонной зоне при значительных концентрациях взвеси, в условиях взаимного влияния частиц.

Скорость осаждения при этом оказывается зависящей от концентрации, однако характер этой зависимости изучен недостаточно.

Согласно М.А. Великанову скорость «стесненного» осаждения частиц уменьшается линейно с ростом концентрации  $C$ :

$$W_c = W(1 - C), \quad (8)$$

Опыты Б.М. Левина обнаружили более сложную связь между скоростью стесненного осаждения и концентрацией взвеси.

Рассматривая более детально осаждение частиц, следующих за фронтальным слоем частиц, можно заметить, что часть зерен «второго» слоя будет двигаться в следах за зернами «фронтального» слоя, другая часть - в «окнах» между зернами, в которых создается восходящее компенсационное течение, скорость которого определится следующим образом:

$$V_{ко} = \frac{W_T}{\omega_{ок}} = \frac{W_T}{\omega_0(1-C)} = \frac{CW\omega_0}{\omega_0(1-C)} = W \frac{C}{1-C}, \quad (9)$$

где  $W_T$  - объем твердой фазы, поступающей вниз за единицу времени,  $\omega_0$  - общая площадь сечения;  $\omega_{ок}$  - площадь сечения «окон»;  $C$  - концентрация,  $W$  - скорость свободного осаждения.

Если считать, что основная масса частиц второго слоя будет двигаться в зонах «окон», скорость их осаждения в неподвижной системе координат окажется в более сложной и в более сильной зависимости от концентрации по сравнению с формулой М.А. Великанова

$$W_{co} = W - V_{ко} = W \left( 1 - \frac{C}{1-C} \right) = W \frac{1-2C}{1-C}, \quad (10)$$

После осаждения мелкодисперсных частиц происходит их постепенная консолидация, в результате которой частицы сближаются друг с другом. С уменьшением расстояния до  $\delta_T \sim (1 \div 2)\mu$ , между частицами начинают проявляться силы электродинамического взаимодействия, которые могут вызвать хлопьеобразование. При этом условии хлопьеобразования может быть записано в виде

$$\delta = d \left( \frac{1}{\sqrt[3]{C}} - 1 \right) = \delta_T \quad (11)$$

Расчетные данные показывают, что хлопьеобразование с последующей консолидацией водогрунтовой смеси может происходить лишь при весьма высоких объемных концентрациях  $C > (0,3 - 0,5)$ . Эти процессы наиболее вероятны в придонной области речного потока.

Осаждение в потоке мелкой взвеси, поступающей с урбанизированных территорий, является основным фактором, определяющим качественный и количественный состав внутрирусловых грунтов. Если осаждение крупных частиц исследовано достаточно детально, то вопрос об осаждении мелкой взвеси в турбулентном водном потоке требует дополнительного рассмотрения. При осаждении частиц баланс наносов над единичной площадкой дна можно записать в виде дифференциального уравнения

$$hdc = -cWdt, \quad (12)$$

где  $h$  – глубина потока,  $c$  – концентрация взвеси на верхней границе придонного слоя,  $W$  – гидравлическая крупность.

Решение этого уравнения с учетом начального условия ( $t = 0, c = c_0$ ), имеет вид.

$$c/c_0 = e^{-Wt/h}, \quad (13)$$

Это уравнение показывает, что в прибрежных зонах с малыми глубинами накопление наносов происходит более интенсивно и ситуация в этих зонах должна учитываться при выборе технологии регулирования внутрирусловых процессов.

При разработке технологий регулирования геоэкологических процессов, основанных на гидравлических принципах, точное определение критической скорости размыва грунтов является необходимым условием. Ряд исследователей связывают предельную устойчивость русловых грунтов к размыву с определенным значением влекущей силы потока (Лебявский С., Великанов М.А., Маккаев В.М., Юфин А.П.). Очевидно, что величина предельного касательного напряжения  $\tau_0$  связана с величиной сцепления грунта, однако приближенный вид этой связи (только для глинистых грунтов) был установлен Ц.Е. Мирцхулава и справедливость ее для русловых грунтов с примесями техногенного происхождения должна быть

проверена специальными экспериментами, которые выполнялись в настоящей работе.

*Глава 3* посвящена экспериментальным исследованиям, по проверке и уточнению расчетно-аналитических зависимостей и расширению базы данных по физико-механическим характеристикам внутриусловных отложений.

Исследования влияния формы и размеров частиц на скорость их осаждения выполнялись с модельными частицами различных размеров, плотности и формы (цилиндры, шар гладкий, шар шероховатый), а также с частицами биологического происхождения (зерна мака, пшена и др.). Коэффициент гидродинамического сопротивления  $C_D$  определялся для каждого вида и размера частиц по скорости их осаждения, установленной экспериментально с приведением объема частицы к эквивалентному объему шара. Часть опытов выполнялась на жидкостях различной вязкости, в качестве которых использовались водно-глицериновые растворы различной концентрации. Стесненное осаждение взвеси исследовалось на водогрунтовых каолиновых смесях различной концентрации.

Сцепление мелкозернистых водонасыщенных грунтов определялось по Н.А. Цытовичу методом шариковой пробы, начальное напряжение сдвига определялось на ротационном вискозиметре Воларовича, измерения начального напряжения сдвига проводились для грунтов различной водонасыщенности: от естественной и выше.

Установлено, что опытные данные по коэффициенту гидродинамического сопротивления частиц при их осаждении согласуются с предлагаемой зависимостью (7) при коэффициенте  $M = 0,11$  (рис.2).

Обработкой данных разных авторов (рис. 3) установлено, что между параметрами  $f$  и  $K_\phi$  существует линейная зависимость:

$$K_\phi = 8(f - 1) + 1 \quad (14)$$

Для проверки аналитических оценок по скорости стесненного осаждения взвесей были выполнены опыты с модельными водно-грунтовыми средами, содержащими взвеси различной природы. Начальные концентрации взвесей изменялись в широком пределе от 200 до 1000 мг/л. Опытам со стесненным осаждением взвесей предшествовали методические опыты по осаждению одиночных частиц.

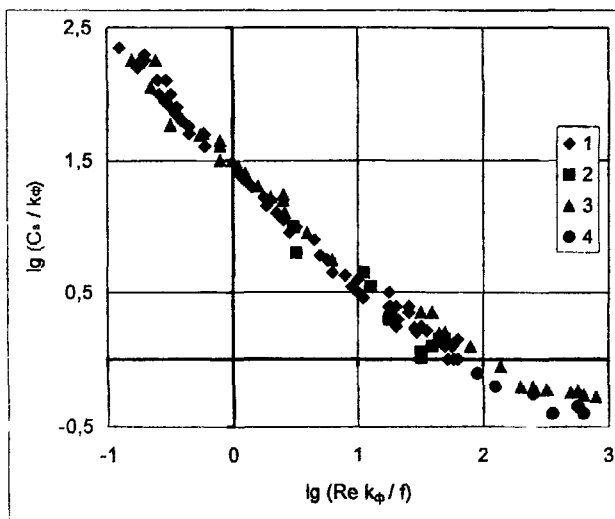


Рис. 2. Коэффициент сопротивления модельных несферических частиц  
 1 - медные шары; 2 - капроновые цилиндры; 3 - частицы неправильной формы (кварц); 4 - шар.

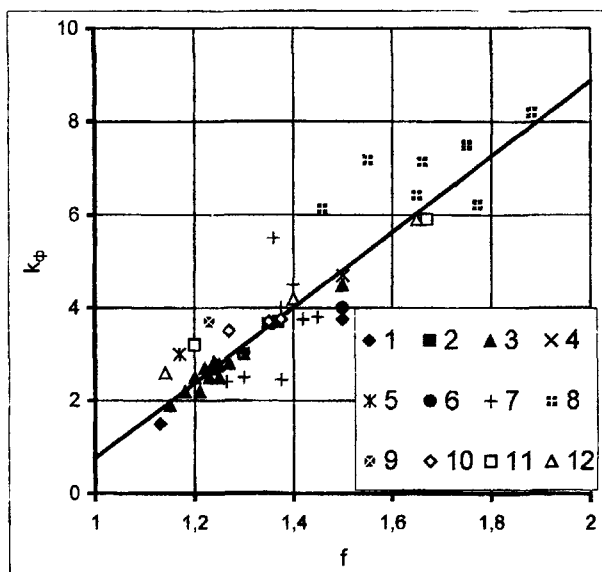


Рис. 3. Коэффициент формы осаждающихся частиц  
 1, 4-8 - частицы неправильной формы (гранит, антрацит, галька речная); 2, 9 - куб; 10 - призма; 11 - диск; 12 - цилиндр.

Полученные результаты по существенному различию скорости стесненного и свободного осаждения частиц, превышающему ранее сделанные аналитические оценки, потребовали специальных исследований. Они выполнялись при различной концентрации, изменяющейся более, чем в пять раз. Скорость стесненного осаждения в опытах устанавливалась по толщине слоя осветленной воды в пробе за различные периоды времени.

Анализ полученных данных позволил получить аппроксимационную зависимость для скорости стесненного осаждения мелкой взвеси (рис.4)

$$\frac{W_{ст}}{W_0} = 1 - 1200C, \quad (15)$$

где  $C$  – объемная концентрация взвеси;  $W_0$  – скорость свободного осаждения частиц.

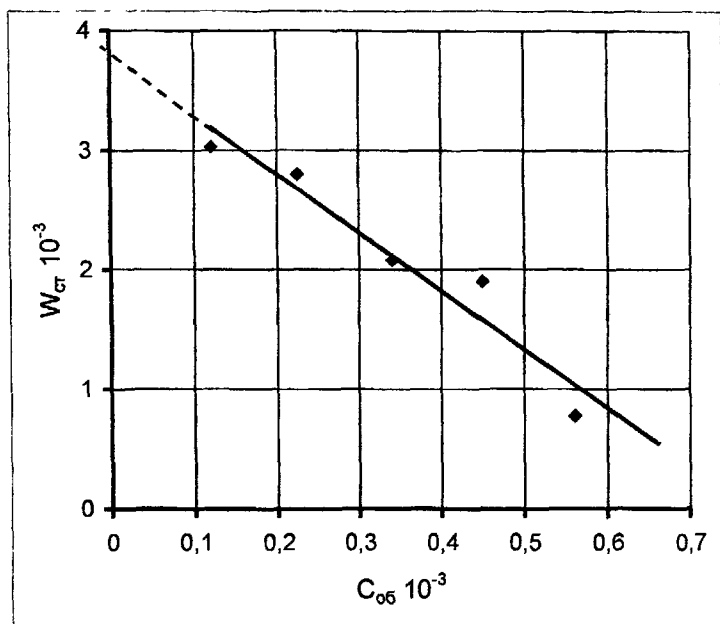


Рис. 4. Влияние концентрации на скорость осаждения мелкой взвеси

Исследования сцепления выполнялись на пробах донного грунта р. Москвы при широком диапазоне изменения крупности зерен от 0,07 до 1,25 мм и при различной влагонасыщенности грунта. Результаты определения сцепления для верхнего слоя

водонасыщенных русловых грунтов могут быть описаны следующей зависимостью, отличающейся от зависимости Ц.Е. Мирцхулава величиной числового коэффициента.

$$\sigma_c = 3,5 \cdot 10^{-3} \frac{1}{d_M} h / M^2, \quad (16)$$

Исследования начального напряжения сдвига водонасыщенных внутрирусовых грунтов показали, что начальное напряжение сдвига (рис.5) значительно изменяется в зависимости от влагосодержания.

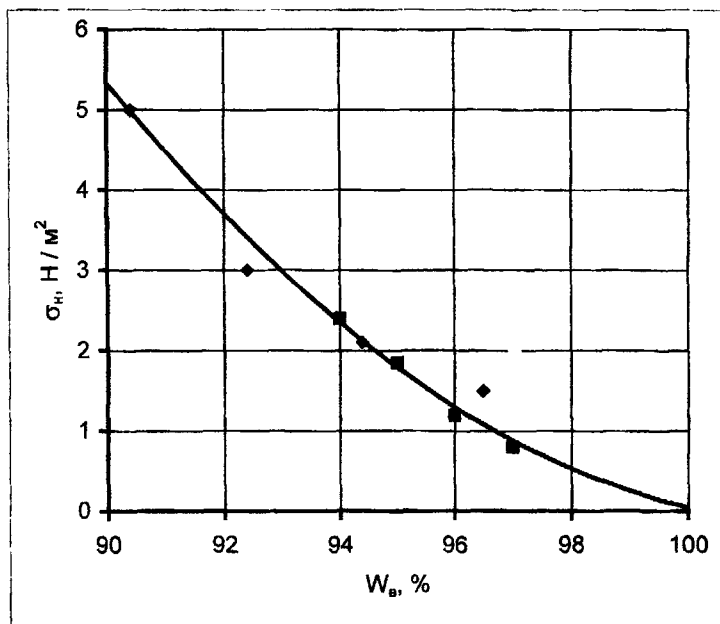


Рис. 5. Начальное напряжение сдвига для илистых грунтов

Выполненные исследования вязкости водогрунтовых смесей позволили получить следующую зависимость

$$\mu_{э} = \mu(1 - ac^n)^{-1}, \quad (17)$$

где  $a = 1,6$ ,  $n = 0,18$ ,  $c$  - объемная концентрация взвеси.

При длительной консолидации внутрирусовые грунты теряют свойства текучести и приобретают слитность. Обработкой данных СНиП II-Б 1-62 по сцеплению водонасыщенных слитных грунтов было установлено, что для этих

грунтов сцепление зависит от влажности на границе раскатывания и коэффициента пористости; обобщением опытных данных получена зависимость

$$\sigma_c = 10^7 W_p^4 / \varepsilon_n^3, \quad (18)$$

где  $W_p$  - влажность на границе раскатывания (отношение массы воды в образце к массе сухого грунта);  $\varepsilon_n$  = коэффициент пористости (отношение объема пор к объему твердой фазы грунта).

Полученные результаты могут быть использованы при усовершенствовании технологических режимов размыва и транспортирования русловых грунтов по трубопроводам

В качестве базы экспериментальных данных для определения критических скоростей размыва грунтов обладающих сцеплением, использованы опытные данные Ц.Е. Мирцхулава. Обработкой опытных данных установлена зависимость между сцеплением грунта и предельной влекущей силой.

Результаты обработки позволили получить зависимость сцеплением грунта и предельной влекущей силой.

$$U_{*c} = 0,025 \sqrt{\frac{\sigma_c}{\rho}}, \quad (19)$$

где  $U_{*c} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$  - динамическая скорость;  $\tau$  - предельная влекущая сила, м/с;  $\sigma_c$  - сцепление грунта, н/м<sup>2</sup>;  $\rho$  - плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>.

С использованием известного соотношения между  $U_{*c}$  и средней скоростью потока

$$V_{cp} = \frac{C}{\sqrt{g}} U_{*c}, \quad (20)$$

где  $C$  - коэффициент Шези.

получена формула для критической скорости размыва внутрирусловых грунтов, обладающей сцеплением

$$V_{kp} = 0,025C \sqrt{\sigma_c / (\rho g)} \quad (21)$$

Сопоставление полученной зависимости со значительно более сложной формулой Мирцхулава (рис.6) показывает, что они дают близкие значения критической скорости. Это позволяет рекомендовать полученную зависимость как более простую, физически обоснованную и достаточно точную для определения параметров водного потока, которые необходимо обеспечить при регулировании внутрирусловых геоэкологических процессов с использованием гидравлических технологий.

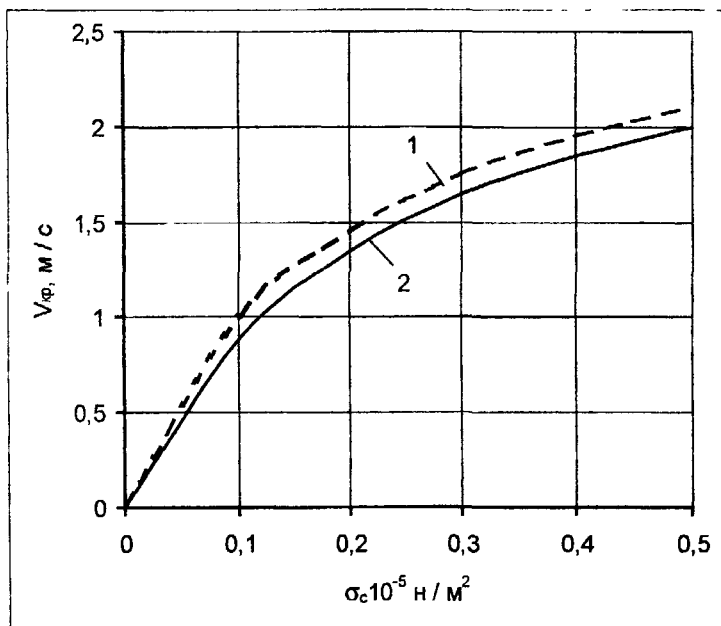


Рис. 6. Сопоставление зависимости (21) с данными расчета по зависимости Ц.Е.Мирцхулава  
 1 - данные расчета по Мирцхулава; 2 - данные расчета по предложенной зависимости (21)

**Глава 4** посвящена описанию предложений по усовершенствованию существующих технологий по очистке речных русел на урбанизированных территориях.

Как показали исследования гранулометрического состава русловых отложений, в составе изымаемых грунтов, содержится 30-50% техногенных примесей илистых частиц и 50-70% чистого речного песка. С целью усовершенствования

землечерпательной технологии, используемой при очистке р. Москвы и снижения затрат на ее реализацию предлагается включить в технологический цикл гидроклассификаторы, которые позволят выделить из пульпы речной песок для последующего использования, например в городском строительном комплексе и в коммунальном хозяйстве, что сокращает объемы и стоимость работ. При расчете гидроклассификаторов должны быть использованы конкретные данные по гранулометрическому составу внутрирусловых грунтов, а также данные по сопротивлению частиц различной крупности, плотности и формы, полученные в настоящей работе.

Технология регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов, основанная на гидравлической промывке русла связана с затратами запасов воды и без дополнительных мероприятий не позволяет удалить отложения из вдольбереговых мелководных зон. Для промывки мелководных зон предлагается использовать плавучие струйные взмучивающие установки, что позволяет обеспечивать наибольшую степень удаления загрязненных внутрирусловых грунтов при одновременном сокращении объемов воды.

Расчет режимов гидравлического попуска и струйного взмучивания выполняется с использованием полученных данных о гранулометрическом составе внутрирусловых грунтов, начальном напряжении сдвига и сцепления, которые определяют критическую скорость размыва, расчет которой выполняется с использованием полученной зависимости. Для определения условия транспортирования потоком внутрирусловых грунтов и назначения параметров акваторий для их осаждения могут быть использованы данные по скорости осаждения частиц различной формы, плотности и крупности.

Дополнительным мероприятием, практически исключаящим негативные последствия выноса загрязнений за пределы городского участка водотока, является их аккумуляция в расширенных акваториях (для реки Москвы верхний бьеф Перервинского г/у) с последующим удалением их, например, с использованием землечерпания.

Постоянное воздействие урбанизации на водоток определяет необходимость постоянного регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов в

водотоках на городских территориях, что требует создания постоянно действующей технологической схемы регулирования этих процессов.

В качестве технологической схемы, обеспечивающей оперативное регулирование внутрирусловых процессов, предлагается технология, включающая:

- струйное рыхление внутрирусловых грунтов, гидроклассификацию и перекачку водно-иловой смеси на городские очистные сооружения в периоды их технологической недогруженности;

Элементы этой технологии могут быть рассмотрены с применением полученных расчетных зависимостей и базы данных.

### ***Общие выводы.***

- Установлена связь нарастания толщины и загрязненности русловых отложений с ухудшением качества речной воды, что указывает на необходимость регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов для улучшения общего экологического состояния водотоков.
- Получена зависимость для коэффициента гидродинамического сопротивления для частиц различной формы, размера и плотности, которая предлагается к использованию при разработке мероприятий по усовершенствованию технологий регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов.
- Исследовано стесненное осаждение мелких взвесей при высоких концентрациях, получена зависимость для скорости стесненного осаждения взвесей при высоких концентрациях, которая может быть использована для прогноза формирования слоя внутрирусловых отложений.
- Установлено условие хлопьеобразования мелкой взвеси, получены данные и зависимость для определения сцепления мелкозернистых водонасыщенных внутрирусловых грунтов для использования при оптимизации рабочих режимов регулирования внутрирусловых геоэкологических процессов с применением гидравлических технологий.
- Получена зависимость для критической скорости размыва связных грунтов для практического использования при расчете параметров регулирования

внутрирусловых геозкологических процессов с использованием гидравлической промывки загрязненных речных русел.

- На основании выполненных исследований разработаны практические предложения по усовершенствованию существующих технологий регулирования внутрирусловых геозкологических процессов:

- для технологии основанной на гидравлической промывке рекомендуется использовать струйные взмучивающие устройства для улучшения промывки прибрежных зон;

- для технологии, использующей землечерпание, рекомендуется ввести в технологический цикл отделение речного песка от загрязненного ила с помощью центробежных гидроклассификаторов с последующим использованием песка в городском хозяйстве, что позволит частично покрыть издержки, связанные с очисткой русла;

- предложена технологическая схема постоянно действующей очистки речного русла на урбанизированной территории (на примере р. Москвы) с использованием струйного гидрорыхления и подачи водно-иловой смеси на городские очистные сооружения в часы их неполной загрузки.

- Установлен положительный экологический эффект регулирования внутрирусловых геозкологических процессов на городском участке реки Москвы с использованием землечерпательной технологии и гидравлической промывки русла.

*По теме диссертации опубликованы следующие работы:*

1. Боровков В.С., Маркова И.М. Реакция русловых аккумулятивных процессов на изменения окружающей среды, связанные с урбанизацией территории // Тезисы докладов на Всероссийской научной конференции (Пленарное совещание Совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ). – Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 1996.
2. Маркова И.М. Геозкология и очистка загрязненных речных русел // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: Материалы второй международной (VII традиционной) научно-практической конференции молодых

ученых, аспирантов и докторантов. Секция 2. Окружающая среда и системы жизнеобеспечения – Москва: Изд-во МГСУ, 2004.

3. Маркова И.М., Бажина Е.В.. Гидроморфометрические характеристики малых водотоков на территории г. Москвы // Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. Сборник научных трудов.- Москва: Изд-во Прима-Пресс-М, 2004, С 167-169.

4. Маркова И.М., Бажина Е.В. Очистка русел малых рек г. Москвы от загрязненных донных отложений // Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. Сборник научных трудов.- Москва: Изд-во Прима-Пресс-М, 2004, С 170-174.

5. Маркова И.М., Боровков В.С. Характеристики русловых отложений и геоэкология водотоков на урбанизированной территории // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: Материалы третьей международной (VIII традиционной) научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов. Секция 2. Окружающая среда и системы жизнеобеспечения. – Москва: Изд-во МГСУ, 2005.



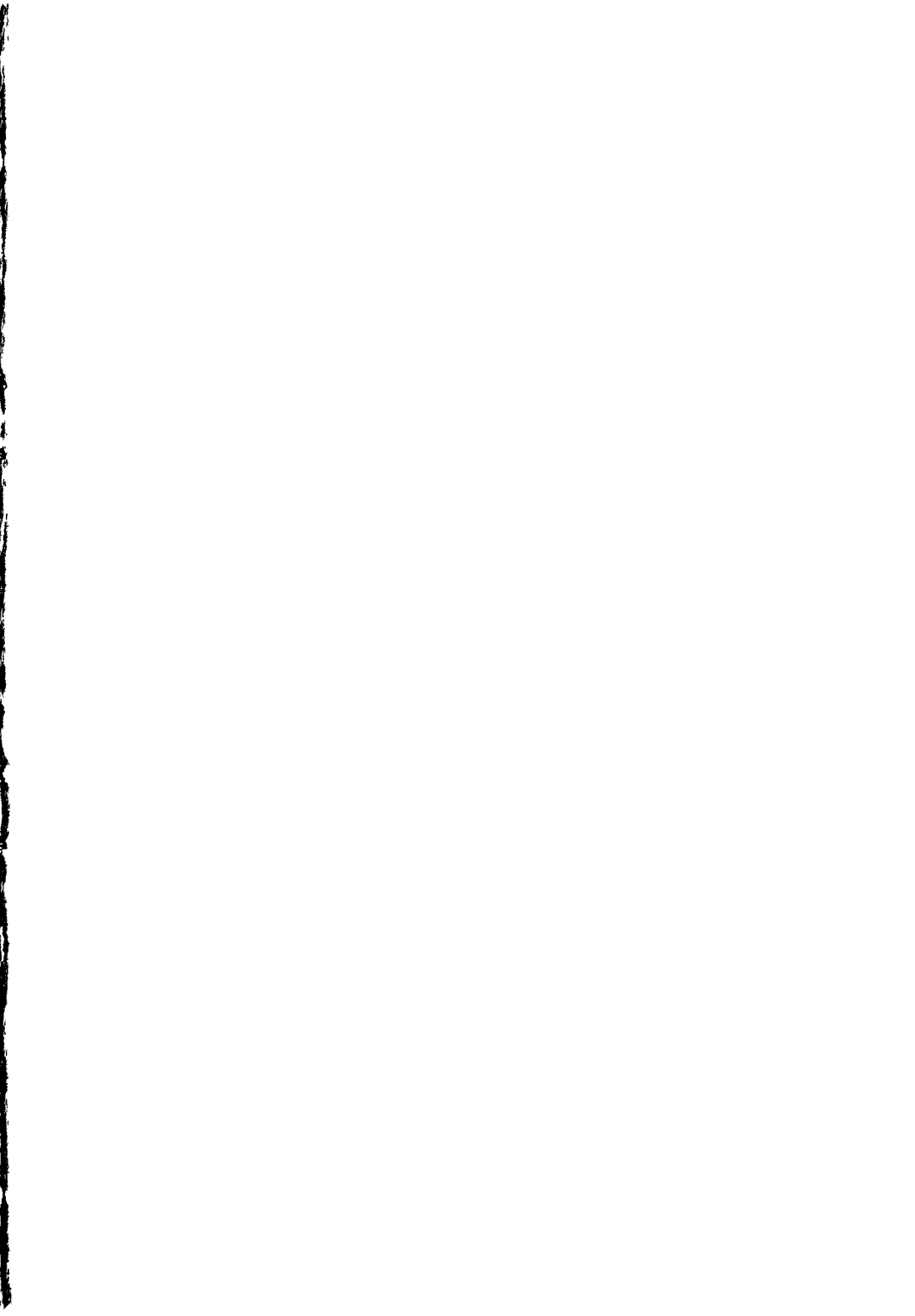
Лицензия ЛР № 020675 от 09.12. 1997 г.

---

Подписано в печать 20.08.05 г.	Формат 60X84 1/16	Печать офсетная
И-122	Объем 1 п.л. Тир.100	Заказ 25

---

Московский государственный строительный университет .  
Экспресс-полиграфия МГСУ . 129337, Москва , Ярославское ш., 26.



№ 15487

РНБ Русский фонд

2006-4

14036