

*На правах рукописи*



**БУЙ КУОК ЗУНГ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
ПЕНЕТРАЦИОННО-КАРОТАЖНОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ  
СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ОСНОВАНИЙ  
ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМ В ДЕЛЬТЕ РЕКИ МЕКОНГ**

**Специальность 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая  
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Москва, 2018**

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»)

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор  
Гальперин Анатолий Моисеевич

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор  
Кутепова Надежда Андреевна,  
Научный центр геомеханики и проблем горного производства  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет», главный научный сотрудник;

кандидат геолого-минералогических наук,  
Карпенко Федор Сергеевич,  
старший научный сотрудник института Геоэкологии РАН

**Ведущая организация:**

Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу (ОАО «ВИОГЕМ», г.Белгород)

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г. в \_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.10 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС» и на сайте <http://misis.ru/science/dissertations/2018/3420/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук



С.А. Эпштейн

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы и степень ее разработанности.** Южные провинции республики Вьетнам характеризуются высокой плотностью населения и дефицитом пригодных для проживания и строительства инженерных сооружений площадей (земель). Поэтому освоение пойменных территорий дельты реки Меконг площадью около 70 тыс.км<sup>2</sup> является важной народнохозяйственной задачей. Однако подъем уровня воды на 10 – 15 м и увеличение её расхода до 33 тыс. м<sup>3</sup>/с (при среднем значении 14,8 тыс. м<sup>3</sup>/с) в периоды половодья зачастую приводит к оползням береговых склонов.

Для экономического развития района дельты р. Меконг, включающего 13 провинций с самой высокой во Вьетнаме плотностью населения, необходимо освоение прибрежных территорий. Одним из путей решения этой задачи является возведение польдерных систем (польдеров), включающих дренажные устройства, ограждающие дамбы и устройства для сброса воды (колодцы и трубы). Опыт создания польдеров имеют Нидерланды, Беларусь, страны Прибалтики и Россия. Польдерные системы необходимы при подготовке прибрежных территорий для использования в различных целях (освоение недр, извлечение минерального сырья, промышленное и гражданское строительство и т.д.). Устойчивость польдерных систем зависит от свойств и состояния глинистых пород их оснований. Для прогноза и контроля состояния массивов тонкодисперсных отложений возможно использование акустических, электрометрических методов и пенетрационного каротажа (ПК). При многолетних натурных исследованиях свойств и состояния тонкодисперсных отложений намывных и насыпных массивов и их естественных оснований на объектах КМА и Кузбасса использовался пенетрационно-каротажный метод, обеспечивающий оперативное получение достоверных данных о состоянии объектов. Однако, до настоящего времени не было попыток применения ПК для контроля естественных оснований польдерных систем в дельте р. Меконг. В связи с этим представляется актуальной задача установления границ и условий применимости метода пенетрационного каротажа и обоснования на этой основе возможности его использования для определения инженерно-геологических свойств глинистых отложений дельты реки Меконг, используемых в качестве оснований польдерных систем.

**Цель диссертационной работы** заключается в оценке возможностей пенетрационного каротажа для изучения прочностных и деформационных характеристик массивов глинистых грунтов, необходимых для определения устойчивости откосных сооружений и несущей способности оснований польдерных систем при их возведении в условиях дельты реки Меконг.

**Идея работы** заключается в использовании опыта применения пенетрационно-каротажного метода исследования техногенных тонкодисперсных отложений гидроотвалов КМА и Кузбасса для изучения свойств и состояния глинистых грунтов естественного основания польдерных систем в дельте р. Меконг.

#### **Задачи исследований:**

1. Анализ современного состояния методов и технических средств натурального определения характеристик прочности и деформируемости техногенных отложений отвалов и хвостохранилищ, а также естественных слабых оснований польдерных систем.

2. Анализ и сопоставление инженерно-геологических свойств техногенных тонкодисперсных отложений гидроотвалов КМА и Кузбасса и глинистых слабых грунтов (отложений) дельты р. Меконг.

3. Анализ результатов натуральных исследований намывных и насыпных массивов на объектах КМА и Кузбасса с применением пенетрационно-каротажного метода.

4. Обоснование применения метода пенетрационного каротажа для оценки состояния слабых глинистых отложений в дельте р. Меконг.

5. Оценка устойчивости защитных дамб польдерной системы на реке Меконг.

6. Разработка рекомендаций по гидрогеомеханическому мониторингу польдерных систем южных провинций Вьетнама.

#### **Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Метод пенетрационного каротажа может являться эффективным инструментом для оценки прочностных и деформационных характеристик естественных и техногенных слабых грунтов при условии, что их коэффициент сжимаемости не менее  $0,5 \text{ МПа}^{-1}$  и сопротивление сдвигу не более  $0,25 \text{ МПа}$ .

2. Реальные свойства глинистых грунтов (отложений) дельты р. Меконг соответствуют диапазону показателей водно-физических свойств, деформируемости и прочности изученных намывных глинисто-меловых и глинистых отложений гидроотвалов КМА и Кузбасса, поэтому метод пенетрационного каротажа может быть использован для оценки устойчивости откосных сооружений и несущей способности оснований при строительстве польдерных систем в дельте р. Меконг.

3. Конструкция и параметры польдерных систем в дельте р. Меконг следует рассчитывать с учетом результатов пенетрационного каротажа, полученных в процессе подготовительных работ по уплотнению глинистых оснований. При этом возведение берегозащитной дамбы следует начинать не ранее достижения расчетных граничных значений угла внутреннего трения  $\varphi$  и сцепления  $C$  пород основания.

**Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждаются** анализом инженерно-геологических свойств техногенных тонкодисперсных отложений гидроотвалов КМА и Кузбасса, а также глинистых слабых грунтов (отложений) дельты р. Меконг; натурными наблюдениями за осадками и динамикой порового давления на гидроотвалах КМА и Кузбасса, а также результатами определения водно-физических и механических свойств глинистых отложений дельты р. Меконг на приборах трехосного сжатия; результатами опытного пенетрационного каротажа участка дельты р. Меконг; высокой сходимостью (около 85 – 90 %) полученных результатов исследований водно-физических и механических свойств отложений гидроотвалов КМА и Кузбасса и глинистых грунтов дельты р. Меконг.

**Научная новизна работы** заключается в установлении границ, условий и возможностей применения метода пенетрационного каротажа для оценки физико-механических свойств слабых оснований дельты р. Меконг; в обосновании методики расчетов уплотняемости и несущей способности слабых оснований и устойчивости ограждающих дамб в дельте реки Меконг.

**Научное значение** работы заключается в обосновании применения пенетрационно-каротажного метода для исследования свойств и состояния глинистых грунтов оснований польдерных систем в дельте р. Меконг с целью их последующего использования при проектировании берегозащитных

сооружений.

**Практическое значение и реализация результатов исследований** состоит: в оценке несущей способности глинистых отложений естественных оснований дельты р. Меконг для последующего возведения польдерных систем; в обосновании конструкции и геометрических параметров защитных дамб; в разработке методических рекомендаций по гидрогеомеханическому мониторингу польдерных систем южных провинций Вьетнама; в разработке рекомендаций по применению наиболее экономичных и эффективных методов зондирования на базе существующей техники.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на международном симпозиуме «Неделя Горняка» (НИТУ «МИСиС», Москва, 2016, 2018 г.г.), на научной конференции «Сергеевские чтения» (Москва, 2017 г.), а также на научных семинарах кафедры «Геология и маркшейдерское дело» НИТУ «МИСиС» (2016 – 2018 гг.).

**Публикации.** По теме диссертации автором опубликованы 4 работы, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки России.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 108 источников, содержит 64 рисунка и 26 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность докт.техн.наук, профессору Гальперину А. М. за всестороннюю помощь при выполнении исследований и внимание к работе.

### **Основное содержание работы**

Меконг – крупнейшая река в Индокитае, начинается на Тибетском нагорье, имеет протяженность 4500 км и впадает в Южно-Китайское море. Образует дельту на юге площадью 70 тыс. км<sup>2</sup>. В период летне-осенних половодий происходят подъемы уровня на 10 – 15 м при возрастании расхода до 33 тыс. м<sup>3</sup>/с (при среднем значении 14,8 тыс. м<sup>3</sup>/с). Дельта реки Меконг (ДРМ) – одна из самых обширных в мире. Почва в низовьях Меконга состоит преимущественно из отложений реки и ее притоков.

С целью вовлечения этой обширной и плотнозаселенной территории в

народнохозяйственное использование целесообразно рассмотреть возможности создания в пределах дельты полейдерных систем с учетом мирового и российского опыта применения гидромеханизированных технологий возведения дамб и дренажных устройств.

Береговые склоны дельты находятся в оползнеопасном состоянии. Оползень на реке Вамнао поразил более 100 м берега реки и разрушил 16 постоянных домов в районе Чомои в провинции Анжанг в конце апреля 2017 г.

Инженерно-геологические службы Вьетнама в течение длительного времени неоднократно производили изыскания в районе дельты реки (рис. 1). В процессе исследований изучался минеральный состав глинистых отложений как по латерали, так и на глубину (рис. 2).

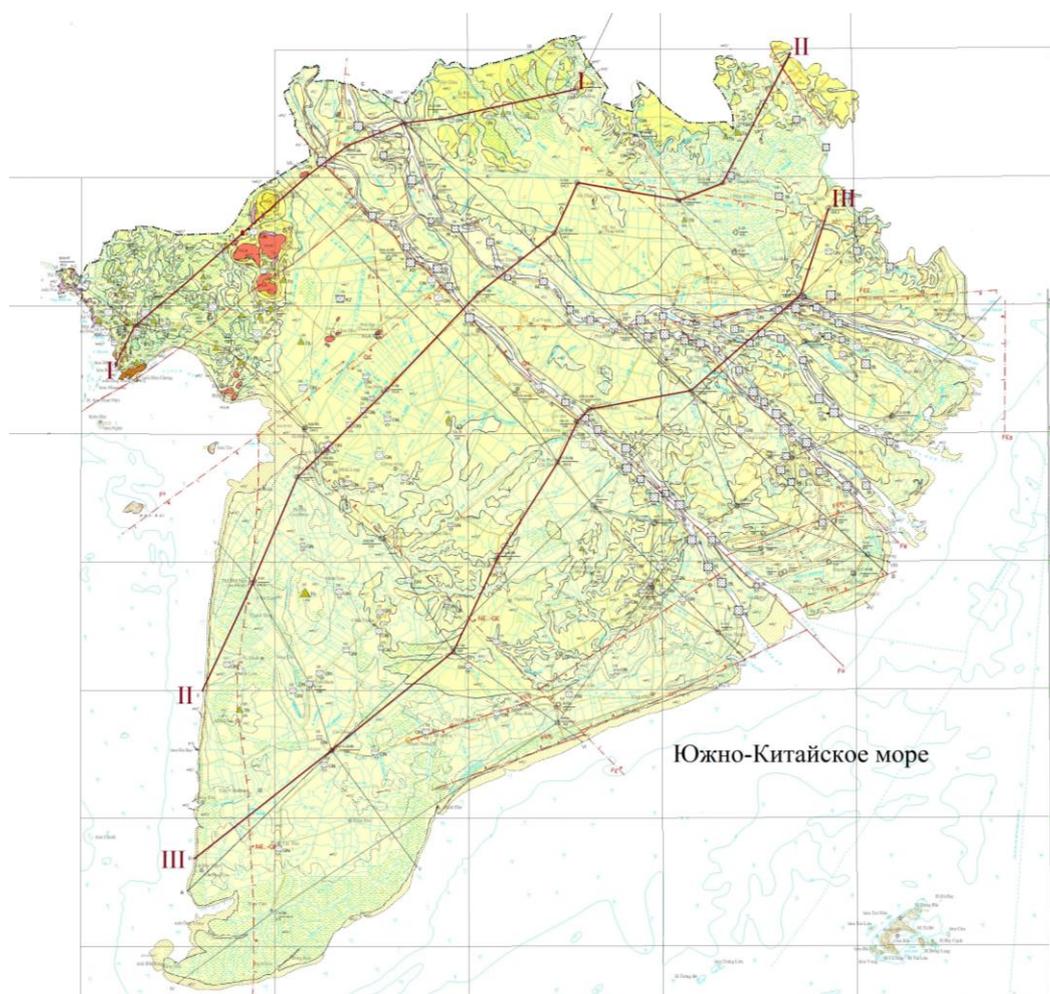


Рисунок 1 - Местоположение обследованных районов

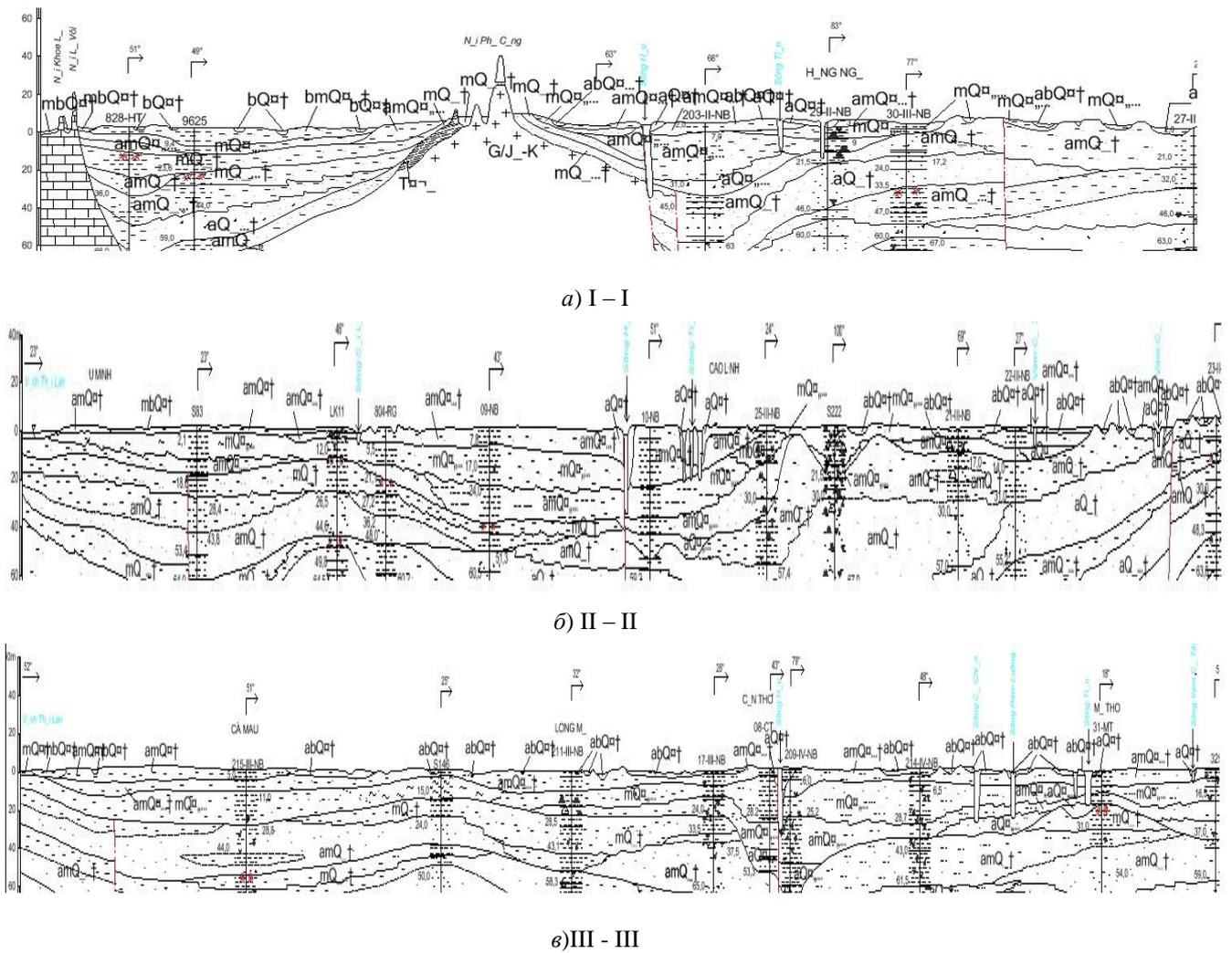


Рисунок 2 - Геологические разрезы по линиям I – I (а), II – II (б), III – III (в)



Анализы минерального и химического состава отложений  $amQ_{II}^{2-3}$  проводились с образцами, взятыми в различных районах провинций Тьенжанг, Кьенжанг, Камау, Бакльеу, Чавинь, Кантхо, Шокчанг. На рис. 3 и 4 показан минеральный состав отложений  $amQ_{II}^{2-3}$  (глины и суглинки) в районе ДРМ. На рис. 5 и 6 представлен химический состав отложений в районе ДРМ.

Относительное содержание минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд в глинах составляют 19-25 %, минералы каолинита составляют 16-18 %. Относительное содержание минералов монтмориллонита и гидрослюд в суглинках составляют 15-19 %, минералы каолинита составляют 11-14 %.

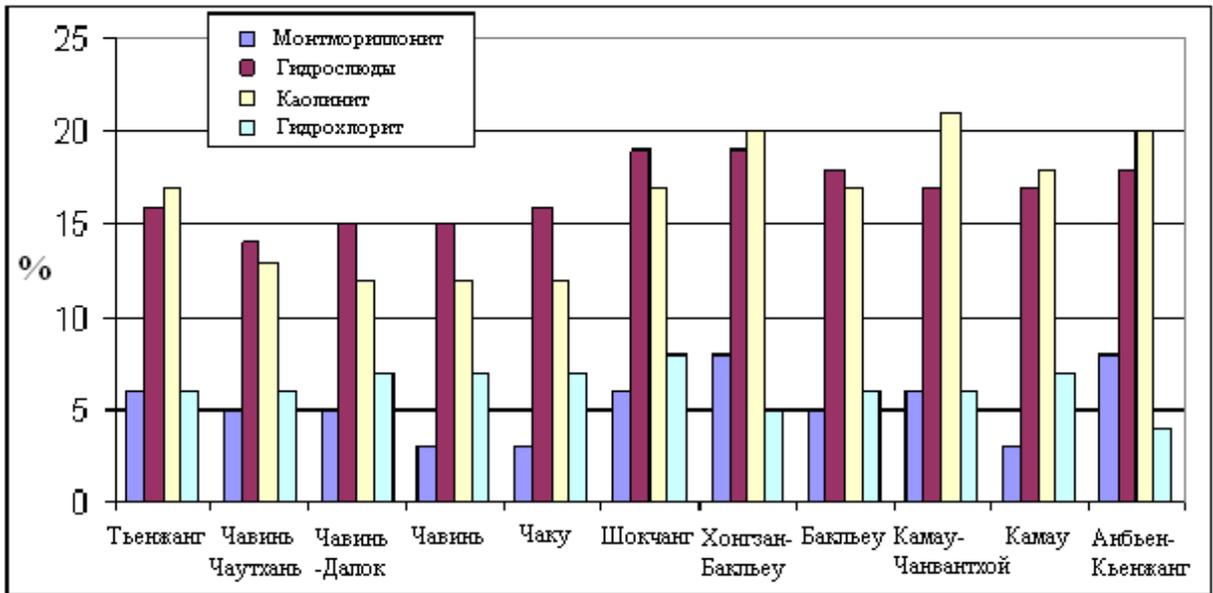


Рисунок 3 - Минеральный состав глинистых пород amQII<sup>2-3</sup>

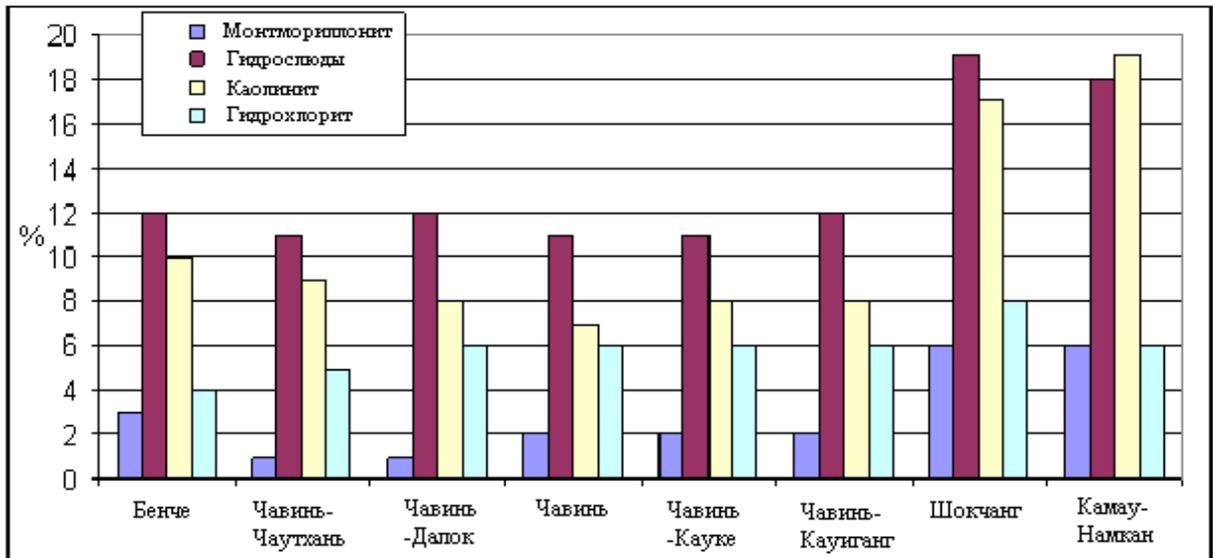


Рисунок 4 - Минеральный состав суглинков amQII<sup>2-3</sup>

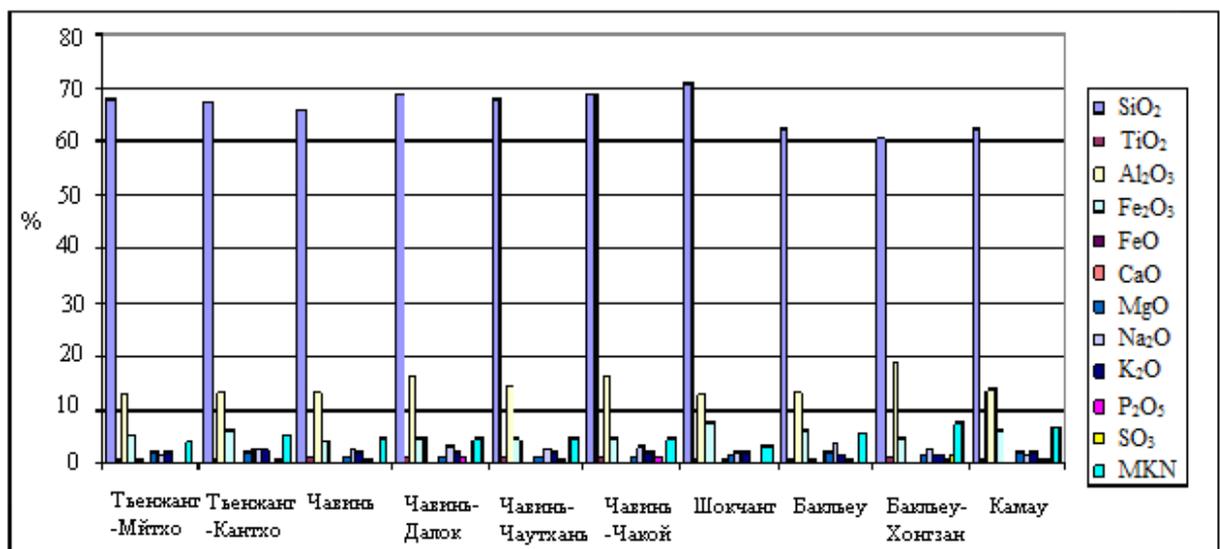


Рисунок 5 - Химический состав глин amQII<sup>2-3</sup>

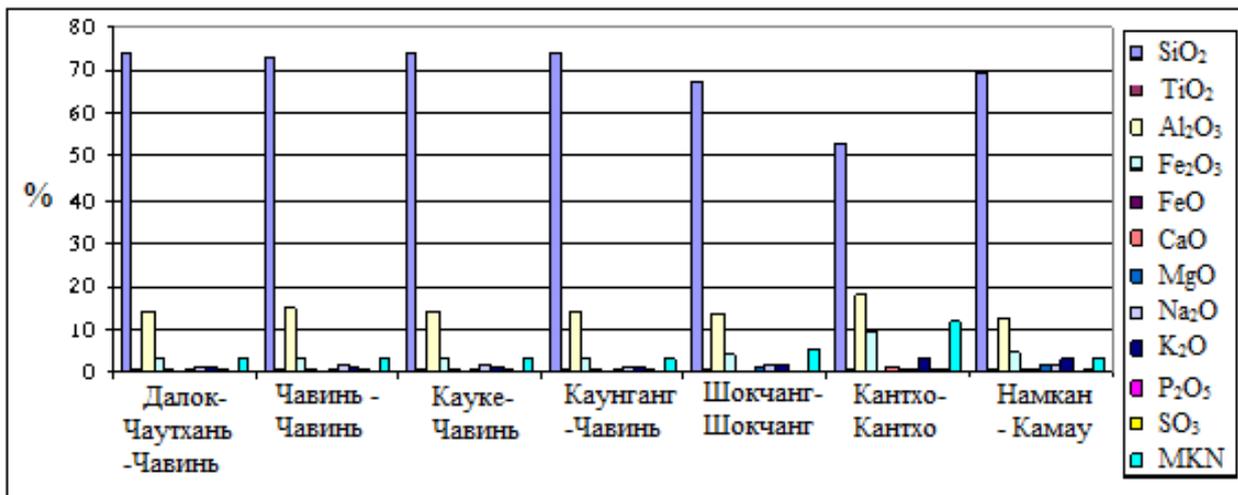


Рисунок 6 - Химический состав глинистых пород amQII<sup>2-3</sup>

На основании этих данных были определены водно-физические и механические свойства глинистых отложений дельты реки Меконг в провинции Кантхо. Определение грансостава позволило выделить глинистые и суглинистые разности пород; также выполнены их трехосные испытания.

Результаты исследований показывают, что отложения дельты реки Меконг относятся к водонасыщенным слабым грунтам (коэффициент водонасыщения  $G_{cp} \approx 0,96$ ) с преобладанием в верхнем разрезе ( $h \approx 0-13,0$  м) глинистой фракции. Эти отложения обладают высоким коэффициентом пористости ( $\epsilon_{cp} \approx 1,8$ ), низкой фильтрационной способностью (коэффициент фильтрации  $K_{ф,ср} \approx 6,24 \cdot 10^{-5}$  м/сут), сильной сжимаемостью ( $a \approx 1,97$  МПа<sup>-1</sup>) и низкими прочностными показателями ( $C \approx 0,008$  МПа;  $\phi_{ср} \approx 4^\circ$ ).

Применительно к месту проведения исследований – провинции Кантхо - эти показатели для верхнего глинистого слоя на момент проведения изысканий составили: коэффициент пористости  $\epsilon \approx 1,943$ ; коэффициент сжимаемости  $a \approx 1,54$  МПа<sup>-1</sup>; сцепление  $C \approx 0,0085$  МПа; угол внутреннего трения  $\phi_{ср} \approx 4^\circ 10'$ .

Автором бы проведен анализ имеющихся результатов исследований водно-физических и механических свойств намывных тонкодисперсных отложений гидроотвалов «Березовый Лог», «Симонова пасека», «Балка Чуфичева», «Лог Шамаровский» (КМА); «Свободный», «Новобачатский», «Южный», «Бековский», №3 (Кузбасс). Обобщенные свойства приведены в табл.1.

Проведенный анализ показывает, что прочностные и деформационные характеристики грунтов дельты р.Меконг незначительно отличаются от аналогичных показателей намывных отложений гидроотвалов глинисто-меловых

Таблица 1 – Обобщенные инженерно-геологические свойства водонасыщенных грунтов ДРМ и намывных отложений гидротоувалов КМА и Кузбасса

Наименование объекта		Содержание частиц, % по крупности (мм)			Плотность $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Пористость $n$ , дол.ед.	Кoeffициент пористости $\epsilon$ , дол.ед.	Кoeffициент водонасыщения $S$ , дол.ед.	Кoeffициент сжимаемости $\alpha$ , МПа <sup>-1</sup>	Результаты трехосных испытаний			
		>0,05	0,05-0,005	<0,005						U=0		U=1,0	
										C, МПа	$\varphi$ , град	C, МПа	$\varphi$ , град
Гидротоувалы КМА	Пляж	36,2	25,7	38,1	1910	0,48	0,92	0,98	>1,0	0,032	6,5	0,035	18,0
	Ядро	34,6	27,4	38,0	1830	0,52	1,1	1,0	>1,0	0,015	4,5	0,018	16,5
Гидротоувалы Кузбасса	Пляж	20,5	67,25	12,25	1930	0,46	0,84	0,97	>1,0	0,075	6	0,019	23
	Ядро	13,8	57,3	28,9	1860	0,49	0,96	1,0	>1,0	0,011	4	0,0175	18,75
Отложения ДРМ	Глины	39,7	20,5	39,8	1520	0,66	1,94	0,964	1,54	0,06	4,2	0,18	19,4
	Суглинки	55,4	21,5	23,1	1710	0,58	1,38	0,92	1,38	0,007	4,6	0,93	24,5

и глинистых пород КМА и Кузбасса с учетом реальных значений их пористости, влажности, сжимаемости и сопротивления сжатию и сдвигу. Применение использованных в российской практике методов и средств комплексного зондирования может быть рекомендовано для объектов ДРМ.

Из приведенных данных о физико-механических свойствах глинистых отложений дельты реки Меконг следует, что эти показатели близки к аналогичным характеристикам намывных тонкодисперсных грунтов ядерных зон КМА и Кузбасса. Применение пенетрационно-каротажных методов целесообразно для грунтов с коэффициентом сжимаемости  $a > 0,5 \text{ МПа}^{-1}$  и сопротивлением сдвигу  $\tau \leq 0,25 \text{ МПа}$ . Такими грунтами и являются водонасыщенные ( $G > 0,8$ ) глинистые отложения дельты реки Меконг.

Результаты одноосных и трехосных испытаний и вращательного среза свидетельствуют о значительном увеличении прочностных и деформационных свойств глинистых отложений ДРМ при консолидации образцов, что соотносимо с изменчивостью ядерных зон гидроотвалов КМА и Кузбасса.

Автором обобщен и проанализирован многолетний опыт инженерно-геологической оценки состояния отвальных насыпей, гидроотвалов и хвостохранилищ с целью разработки мероприятий по их управлению.

Формирующиеся при открытой разработке месторождений техногенные массивы отвальных насыпей, гидроотвалов и хвостохранилищ оказывают крупномасштабное влияние на окружающую среду. Инженерно-геологическая оценка их состояния позволяет разрабатывать мероприятия по их управлению.

Наиболее точные данные о физико-механических, прочностных и деформационных свойствах техногенных отложений и оснований массивов получают при помощи полевых (натурных) методов.

Вопросы пенетрационного каротажа рассматривались в работах В.И.Ферронского, Т.А.Грязнова, Л.В.Селиванова, В.С.Круподерова, В.А.Титянина, В.И.Лебедева, В.Г.Разоренова, И.В.Дудлера, М.Г.Трофименкова, А.М.Гальперина, Ю.И.Кутепова, Н.А.Кутеповой, О.Ю.Крячко, И.Н.Кэй, А.И.Лутенеггер, И.Х.Мартина, Х.Чешлока и др.

Для интерпретации результатов натурных исследований процессов консолидации тонкодисперсных отложений использовались работы Н.А.Цытовича, Ю.К.Зарецкого, М.Ю.Абелева, М.В.Малышева,

В.А.Мироненко, А.М.Гальперина и др.

Распространенным способом опробования техногенных отложений и слабых оснований (с коэффициентом сжимаемости пород  $a > 0,5 \text{ МПа}^{-1}$ ) является статическое зондирование, которое уже более 50 лет применяется МГИ-МГГУ и ВНИМИ на гидроотвалах КМА, Кузбасса и т.п. Метод пенетрационного каротажа возник в результате комплексирования подходов, используемых в инженерной геологии и каротажной геофизике.

Наиболее целесообразным является использование многопараметрического зонда, позволяющего одновременно определять избыточное поровое давление  $P_u$ , сопротивление задавливанию зонда (пенетрации)  $q_c$  и сопротивление вращательному срезу  $\tau_c$ . Последнее определяется методом вращательного среза.

Применительно к геологическим условиям и свойствам отложений дельты р.Меконг использование устройства МГГУ-ДИГЭС в сочетании с автоматизацией процесса сбора и передачи информации о сопротивлении вдавливанию зонда, поровом давлении и моменте вращения крыльчатки при срезе породы, позволяет получать фактические данные о состоянии массива для решения широкого спектра инженерных задач.

Анализ рассмотренного опыта применения пенетрационно-каротажных методов исследований водонасыщенных глинистых природных и техногенных массивов пород и отложений позволяет рекомендовать их к использованию на территории дельты реки Меконг с высокой степенью достоверности получаемых результатов для оценки устойчивости природных склонов и несущей способности оснований польдерных систем.

В диссертации приведен анализ результатов многолетних полевых работ (МГИ-МГГУ, ВНИМИ, ВЮГЕМ, ВСЕГИНГЕО, НИИКМА), который показал, что комплексное зондирование техногенных массивов совместно с геодезическими наблюдениями и измерениями стационарными датчиками порового давления дает наиболее полную и достоверную информацию о состоянии массивов.

Для водонасыщенных отвальных отложений поровое давление рассматривается как индикатор их напряженно-деформированного состояния. Для определения коэффициента консолидации намывных отложений через уста-

новленную зондированием степень уплотнения были использованы решения задач консолидации слоев переменной (возрастающей во времени) мощности; а для глинистых отложений в основании – решения задачи уплотнения слоя под постепенно возрастающей внешней нагрузкой. Показана сходимостъ расчетных и натуральных значений осадок (расхождения не превышали 10%) основания упорной призмы крупнейшего гидроотвала «Березовый Лог». Уточнены значения приведенного коэффициента сжимаемости намывных отложений и коэффициента консолидации для различных зон намывных массивов (пляжной, промежуточной и прудковой) для объектов Кузбасса с использованием решения задачи об «отдыхе» намывного слоя.

Анализ опыта комплексного зондирования намывных гидротехнических объектов КМА и Кузбасса свидетельствует о необходимости его проведения перед принятием инженерных решений по дальнейшему использованию техногенных массивов с целью получения достоверной информации о состоянии и свойствах отложений.

Свойства исследуемых пород и отложений техногенных массивов КМА и Кузбасса (для промежуточных (ядерных) зон гидроотвалов  $\varphi \approx 8 \div 14^\circ$ ;  $C \approx 0,014 \div 0,023$  МПа;  $\varepsilon_0 \approx 0,64 \div 1,1$ ;  $a > 0,5$  МПа<sup>-1</sup>;  $\tau_c < 0,25$  МПа) и решаемые гидрогеомеханические задачи по их дальнейшему использованию вполне применимы для условий и технологии строительства берегозащитных сооружений в дельте р. Меконг.

В диссертации разработаны рекомендации по гидрогеомеханическим исследованиям в дельте р. Меконг с помощью ПК и обоснованы параметры защитных сооружений.

Периодически затопляемая в результате летне-осеннего дождливого периода территория дельты р. Меконг из-за изменения климата рискует в ближайшие годы стать постоянно затопленной. Анализ опыта инженерной защиты береговой линии прибрежных и пойменных территорий позволяет выделить три основных вида инженерной подготовки: гидромеханизированный намыв неразмываемого пляжа; гидромеханизированный намыв территории до незатопляемых отметок; строительство защитных дамб и создание польдерных систем.

Наличие в дельте реки Меконг наносных плодородных отложений, а

также традиционный сельскохозяйственный уклад этих провинций Вьетнама позволяет сделать вывод, что наиболее эффективным путем освоения прибрежных территорий дельты реки Меконга представляется создание полей для их защиты от наводнений и размыва (разрушения).

Сложное гидрогеологическое строение прибрежной части, наличие оползневых и оползнеопасных участков, резкие колебания уровня воды (перепады уровня 15 м) и изменения расхода и скорости течения реки в течение года (в два и более раза) изменяют физико-механические свойства грунтов на площади дельты, влияют на прочностные и деформационные их свойства, что осложняет инженерно-геологическое обоснование строительства.

Применительно к условиям дельты реки Меконг разработана принципиальная схема берегозащитных сооружений, включающая песчаную пригрузку со щебеночным покрытием и дамбу с превышением гребня относительно максимального уровня воды на 2 м (рис. 7).



Рисунок 7 - Принципиальная схема берегозащитных сооружений

Такая конструкция предусматривает пригрузку слабого основания дренирующей песчаной подушкой для предварительного уплотнения водонасыщенных глинистых пород. Тонкодисперсные отложения в основании защитной дамбы имеют высокий коэффициент сжимаемости ( $a > 1,0 \text{ МПа}^{-1}$ ), низкую несущую способность и низкие прочностные свойства и по этим и остальным показателям свойств могут быть соотнесены с намывными отложениями гидроотвалов. Мощность пористого штампа определяется по мето-

дикам, апробированным на намывных объектах КМА и Кузбасса, и рассчитывается исходя из прочностных и деформационных свойств, полученных при пенетрационном каротаже непосредственно перед началом строительства.

Использование метода ПК позволяет определить модуль деформации грунтов (через сопротивление пенетрации  $q_c$ ), плотность-влажность, сопротивление сдвигу (для крыльчатых зондов), степень уплотнения намывных (насыпных) слоев и их оснований.

С целью обоснования возможности использования пенетрационного каротажа при инженерно-геологических изысканиях в дельте реки Меконг было произведено опытное зондирование на участке по оси будущей защитной дамбы (рис.8, 9).

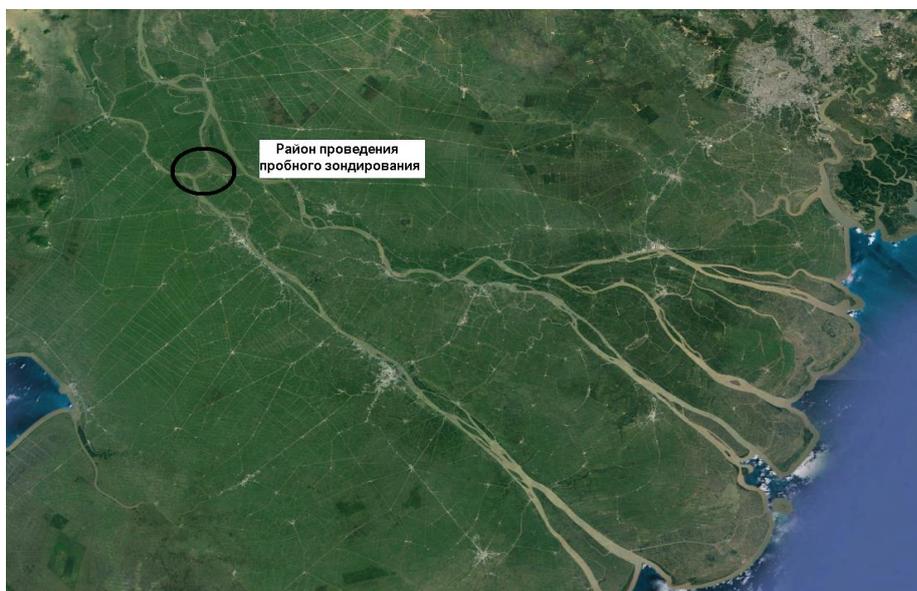


Рисунок 8 - Местоположение участка пробного зондирования

Участок расположен на расстоянии 3,1 км юго-западнее поселка Тан Трунг на правом берегу одного из рукавов Меконга - реки Вам Нао (рис.9). В пунктах зондирования производят определение основных водно-физических и физико-механических свойств, а также сопротивления пенетрации, порового давления и сопротивления вращательному срезу. Всего было пройдено 6 скважин, максимальная глубина зондирования составляла 15 м (скв.2). Для пробного зондирования была использована установка УГБ-50, оборудованная через переходник зондом МГГУ-ДИГЭС. Усилие задавливания определялось аппаратурой, установленной на УГБ-50.

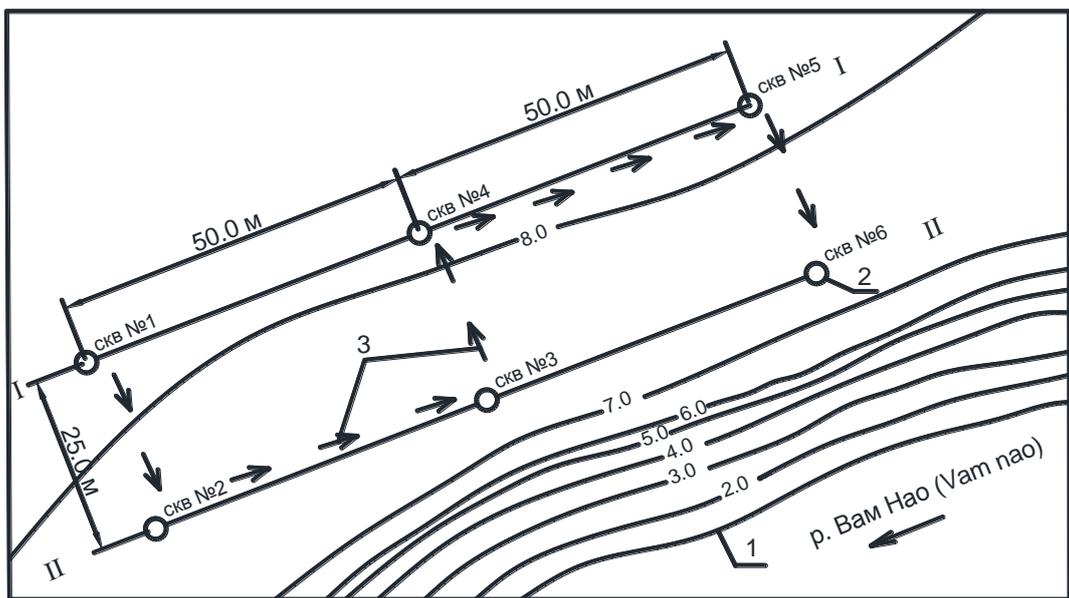


Рисунок 9 - Схема расположения зондировочных скважин: 1 – урез воды; 2 – точки зондирования; 3 – направление движения пенетрационной установки

Боковое трение штанг определялось после среза грунта холостым прокручиванием в одну и другую стороны. Усилие среза ( $\tau_c$ ) определялось как разность между общим усилием среза ( $\tau_{общ}$ ) и трением бурового става ( $\tau_{бок}$ ):

$$\tau_c = \tau_{общ} - \tau_{бок}$$

Колонки зондирования представлены на рис.10.

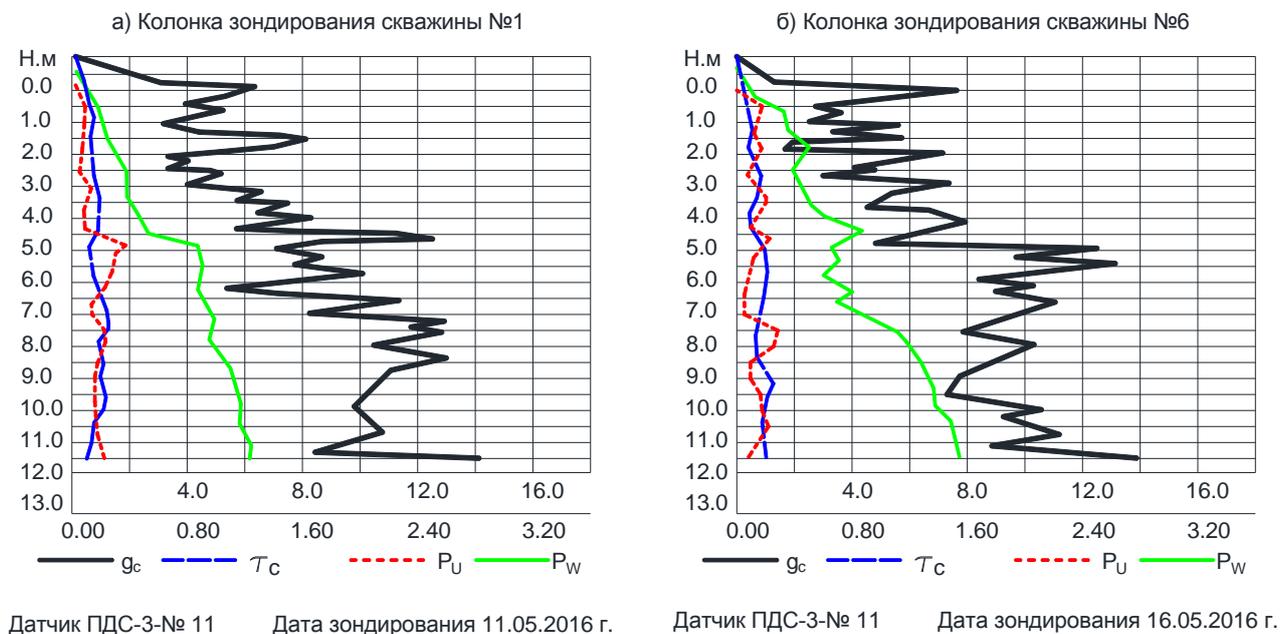


Рисунок 10 - Колонки зондирования основания берегозащитной дамбы дельты реки Меконг:  $q_c$  - сопротивление пенетрации;  $\tau_c$  – сопротивление сдвигу (вращательному срезу);  $P_u$  – избыточное поровое давление;  $P_w$  – общее давление

С помощью эпюры порового давления определяют степень уплотнения обследуемого слоя и изменение по глубине сопротивления сдвигу в эффективных напряжениях.

С использованием представленных на рис.10 графиков были получены зависимости  $\tau = f(\sigma)$  в эффективных напряжениях и определены следующие средние прочностные характеристики для уплотненных пород основания:  $\varphi_{\text{ср}} \approx 12^\circ$ ;  $C \approx 0,011$  МПа.

По результатам фактически замеренных величин порового давления и положения депрессионной поверхности в откосе был выполнен расчет коэффициента запаса устойчивости откоса  $\eta$  на ЭВМ на базе разработанной в МГИ-МГГУ гидрогеомеханической схемы, охарактеризованной соответствующими для данного этапа эксплуатации сооружения строением, геометрическими параметрами, показателями физико-механических свойств и измеренного давления воды.

Принятые допущения позволяют сделать вывод, что беспроводная система дистанционного контроля «Орфей – 1» также может быть использована при организации гидрогеомеханического мониторинга дамб в дельте реки Меконг.

Вышеперечисленные методы были использованы при расчете устойчивости дамбы гидрозащиты на реки Меконг (рис. 11).

Наличие в основании будущей дамбы в районе Кантхо слоя водонасыщенных глинистых пород (коэффициент водонасыщения  $G \approx 95,4\%$ ) и выявленное при зондировании поровое давление  $P_u$  свидетельствуют о правомерности использования одномерной задачи фильтрационной консолидации при нагружении слабого основания первоначально песчаной подушкой, а затем – дамбой (рис. 7; 11). Следовательно, можно воспользоваться известной постановкой задачи об уплотнении слоя конечной мощности под действием равномерно распределенной (полосовой) нагрузки.

Уплотняющее действие от песчаной подушки и дамбы оказывает упрочняющее действие на породы основания, повышая значения сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  до значений, полученных в результате консолидировано-дренированных испытаний (табл. 1).

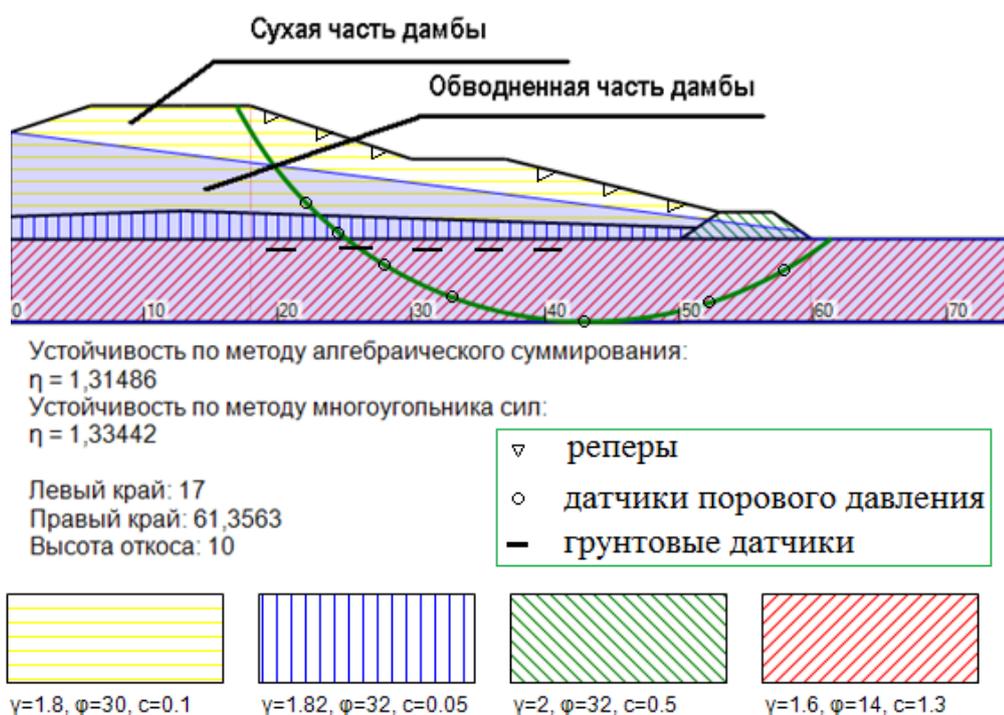


Рисунок 11 - Схема расчета устойчивости дамбы гидрозащиты дамбы (ДРМ) и рекомендуемые средства гидрогеомеханического мониторинга

Изменения водно-физических и прочностных характеристик на этапе формирования и эксплуатации гидротехнического сооружения (ГТС) являются объектами гидрогеомеханического мониторинга. Эти характеристики могут быть получены опытным путем по результатам ПК, что позволит безаварийно эксплуатировать данную ГТС. ПК является достоверным и быстрым способом получения информации об изменении свойств массива польдерной системы и прилегающих к ней территорий.

ПК на разных этапах формирования плотины позволит обосновать оптимальные параметры польдерной системы, в том числе дамбы.

Минимальный коэффициент запаса устойчивости для гидротехнических сооружений первого класса ответственности составляет  $\eta \geq 1,3$ , поэтому параметры дамбы выбирались по результатам расчета устойчивости по данным ПК, полученным на различных этапах формирования польдерной системы (обоснованы экспериментальным путем).

При расчетах устойчивости и определении геометрических параметров берегозащитной дамбы в дельте реки Меконг задавались различные значения свойств пород основания, песчаной подушки и дамбы.

Анализируя результаты проведенных расчетов можно сделать вывод, что основное влияние на устойчивость дамбы оказывают прочностные характеристики пород основания. В связи с этим применение пенетрационно-каротажного метода на этапах формирования польдерных систем для определения свойств и состояния глинистых грунтов оснований в дельте реки Меконг является необходимым условием обоснования геометрических параметров дамб.

Обработка и анализ результатов расчетов устойчивости послужили основой для построения графиков  $\eta = f(C)$  и  $\eta = f(\varphi)$ , которые позволяют определить минимальные значения прочностных свойств пород оснований дамбы (рис.12, 13). Граничные (минимальные) значения прочностных свойств водонасыщенных глинистых пород основания дамб составляет:  $\varphi_{гр} = 13^{\circ}40'$ ;  $C = 0,0127$  МПа. Полученные при пенетрационном каротаже значения  $C$  и  $\varphi$  должны служить основой для расчета параметров пригружающей песчаной подушки, уплотняющей водонасыщенное глинистое основание до необходимых значений степени уплотнения.

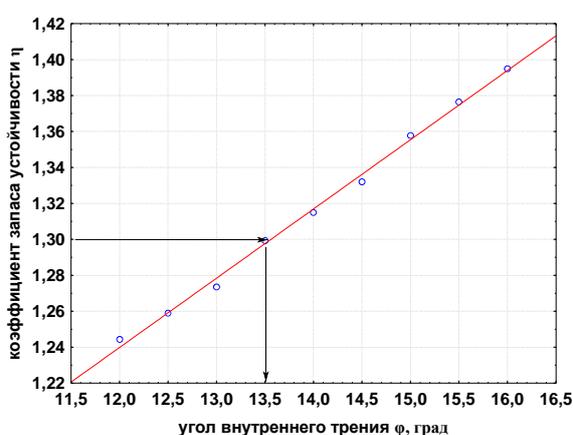


Рисунок 12 - График зависимости коэффициента запаса устойчивости от угла внутреннего трения пород основания

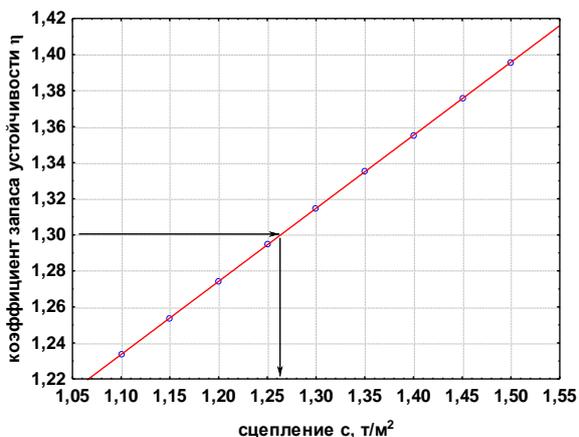


Рисунок 13 - График зависимости коэффициента запаса устойчивости от сцепления пород основания

Параметры дамбы были обоснованы по данным расчета устойчивости, с учетом свойств пород, полученных в результате пенетрационного-каротажных изысканий в дельте реки Меконг и уплотнения песчаной подушкой  $h = 2$  м. Достоверность полученных результатов подтверждается проведенными лабораторными испытаниями материала дамб и основания. На рис.14 представлены расчетные геометрические параметры берегозащитной дамбы, обеспечивающие ее долговременную устойчивость.

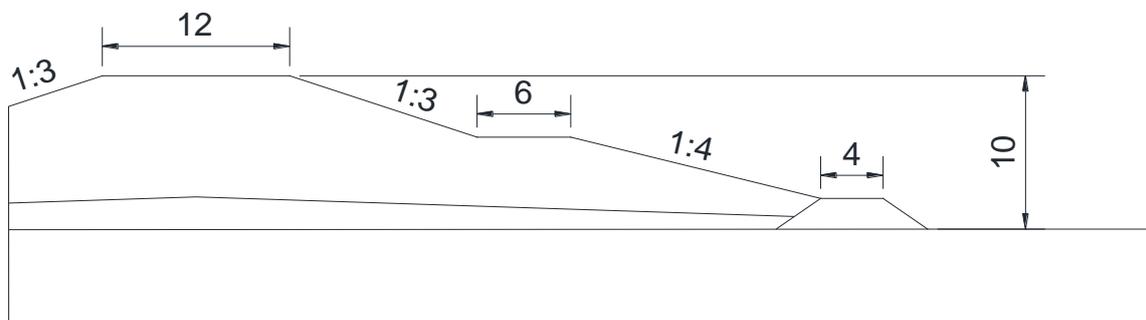


Рисунок 14 - Схема польдерной системы в дельте реки Меконг с рекомендуемыми параметрами полученными в результате расчета устойчивости по определенным по результатам пенетрационного каротажа свойствам пород

В процессе формирования и эксплуатации польдерных систем, свойства основания и тела дамб будут претерпевать различные изменения, поэтому необходим гидрогеомеханический мониторинг, включающий реперную съемку, закладку различных датчиков, уточнение свойств массива методами пенетрации и другие способы мониторинга. В качестве основных средств мониторинга могут быть использованы: комбинированные зонды МГГУ-ДИГЭС; беспилотные летательные аппараты (для аэрофотограмметрической съемки); датчики порового давления в сочетании с логгерами (для автоматизированного беспроводного контроля уровней в дамбах и порового давления в глинистых основаниях); датчики общего давления (для закладки в основание); буровая машина с глубиной бурения до 50 м, снабженная измерителем осевого давления на забой скважины, и реперы для наземной съемки откосов песчаной дамбы.

Для уточнения свойств и состояния глинистых прибрежных отложений целесообразно использовать буровые машины с установленным на буровом ставе (через переходное устройство) зондом МГГУ-ДИГЭС.

Полевые и лабораторные исследования позволяют получить исходные данные для инженерно-геологической схематизации (районирования) системы «дамба-основание». При постановке изысканий (инженерно-геологических наблюдений) схематизация должна обязательно учитывать условия работы сооружения. Только в этом случае инженерно-геологическое районирование техногенных территорий в дельте реки Меконг будет иметь смысл.

С учетом техногенного характера берегозащитных сооружений и польдерной системы в целом, а также естественных слабых грунтов для получения

их расчетных характеристик первостепенное значение приобретают натурные наблюдения (на стадии проектирования – на объектах-аналогах или при опытных нагружениях, на стадии возведения – непосредственно на действующем объекте). Геомеханические расчеты по полученным в результате зондирования данным должны подтверждаться результатами маркшейдерских измерений осадок нагружаемых массивов.

В результате проведенных исследований разработаны рекомендации по гидрогеомеханическому мониторингу польдерных систем в районе дельты р. Меконг на всех стадиях их сооружения и эксплуатации, включающие определение порового давления в основании, механических свойств пород основания и деформаций дамб.

### **Заключение**

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научная задача установления границ и условий применимости метода пенетрационного каротажа и обоснования на этой основе возможности его использования для оперативного определения инженерно-геологических свойств глинистых отложений дельты реки Меконг, используемых в качестве оснований польдерных систем, что имеет важное значение для обеспечения эффективности и безопасности их сооружения и эксплуатации.

Основные научные и практические результаты, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. На основе анализа инженерно-геологических условий техногенных массивов КМА и Кузбасса установлены границы применимости метода пенетрационного каротажа для оценки свойств и состояния глинистых пород оснований дельты р. Меконг: коэффициент сжимаемости не менее  $0,5 \text{ МПа}^{-1}$  и сопротивление сдвигу не более  $0,25 \text{ МПа}$ .

2. Доказано, что реальные свойства глинистых пород дельты р. Меконг соответствуют диапазону показателей водно-физических свойств, характеристик деформируемости и прочности изученных глинисто-меловых и глинистых техногенных отложений КМА и Кузбасса.

3. Определены характеристики сопротивления сдвигу и модули деформации различных разновидностей глин, позволившие оценить устойчивость природных склонов и несущую способность оснований польдерных систем. При проведении исследований глинистых водонасыщенных отложений в дельте реки Меконг методом пенетрационного каротажа глубина зондирования составляет около 15 м.

4. Получены зависимости коэффициента запаса устойчивости от прочностных свойств пород основания берегозащитной дамбы, устанавливающие минимальные значения угла внутреннего трения ( $\varphi \geq 13^{\circ}40'$ ) и сцепления ( $C \geq 0,0127$  МПа), получаемых при пенетрационном каротаже, обеспечивающие устойчивость дамб с нормативным коэффициентом запаса  $\eta \geq 1,3$  после пригрузки водонасыщенного глинистого основания песчаной подушкой.

5. Обоснованы конструкция и параметры польдерных систем в дельте р. Меконг на основе расчетов устойчивости ограждающих дамб с учетом пригрузки откосов песчаным и крупнообломочным материалом.

6. Проведено опытное зондирование участка под берегозащитной дамбой, которое показало сходимость полученных при пенетрационном каротаже результатов с лабораторными исследованиями пород.

7. Разработаны рекомендации по гидрогеомеханическому мониторингу польдерных систем в районе дельты р. Меконг на всех стадиях их сооружения и эксплуатации, включающие определение порового давления в основании, механических свойств пород основания и деформаций дамб.

Полученные выводы и рекомендации предлагается применять при возведении польдерных систем, необходимых при подготовке прибрежных территорий к использованию в различных областях народного хозяйства.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:**

1. Гальперин А.М., Пуневский С.А., Бородин Ю.В., Буй Куок Зунг. Развитие технических средств и способов гидрогеомеханического мониторинга отвальных сооружений. // «Маркшейдерия и Недропользование» № 3 (77), май-июнь 2015 г. С 22 – 30.

2. Буй Куок Зунг. Перспективы развития комплексного зондирования на горных предприятиях // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. - № 11. - С 365 – 372.

3. Буй Куок Зунг. Обоснование применения метода пенетрационного каротажа для исследования свойств и состояния глинистых пород оснований защитных сооружений в дельте реки Меконг. // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018, – № 2 (специальный выпуск 8). – 12 с.

4. Буй Куок Зунг, Пуневский С.А., Деревянкин В.В. Оценка устойчивости отвальных насыпей нецементированных пород с помощью комплексного зондирования // Сергеевские чтения. – 2017. – Вып.19.- С. 139 – 142.