

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС»

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

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель
проф., д.т.н. Гальперин А. М.**

Москва, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| ГЛАВА 1. Геологическая характеристика дельты реки Меконг и регионов КМА и Кузбасса..... | 8 |
| 1.1. Геолого-географическая характеристика дельты реки Меконг..... | 8 |
| 1.1.1. Географическое и гидрологическая характеристика..... | 8 |
| 1.1.2. Изучение глинистых отложений дельты реки Меконг (ДРМ)..... | 9 |
| 1.1.3. Результаты определения физико-механических свойств глинистых отложений ДРМ..... | 17 |
| 1.2. Геологическая характеристика регионов КМА и Кузбасса..... | 20 |
| 1.2.1. Общие сведения о месторождениях КМА..... | 20 |
| 1.2.2. Характеристика региона Кузбасса..... | 25 |
| 1.3. Водно-физические и механические свойства намывных тонкодисперсных грунтов КМА и Кузбасса..... | 25 |
| Выводы..... | 28 |
| ГЛАВА 2. Сравнительная оценка различных методов зондирования..... | 30 |
| 2.1. Предварительные сведения..... | 30 |
| 2.2. Устройства для вращательно-статического зондирования и обработка результатов..... | 39 |
| 2.3. Приемы интерпретации результатов пенетрационного каротажа..... | 45 |
| 2.4. Расчленение разреза по диаграммам пенетрационного каротажа и проверка при помощи статистических критериев..... | 48 |
| Выводы..... | 49 |
| ГЛАВА 3. Анализ опыта и результатов полевых работ..... | 50 |
| 3.1. Натурные исследования техногенных массивов на горных предприятиях КМА..... | 50 |
| 3.2. Натурные исследования техногенных массивов на горных предприятиях Кузбасса..... | 70 |
| 3.3. Пенетрационные испытания техногенных отложений..... | 79 |
| Выводы..... | 82 |
| ГЛАВА 4. Рекомендации по применению метода пенетрационного каротажа для оценки состояния тонкодисперсных отложений в дельте реки Меконг..... | 88 |
| 4.1. Анализ способов инженерной защиты прибрежных территорий..... | 88 |
| 4.2. Пенетрационный каротаж исследуемой территории в дельте реки Меконг..... | 91 |
| 4.3. Использование результатов ПК для расчетов устойчивости и обоснования конструкции берегозащитной дамбы..... | 97 |
| 4.4. Рекомендации по мониторингу системы берегозащитных сооружений..... | 104 |
| Выводы..... | 108 |
| Заключение..... | 110 |
| Список литературы..... | 112 |

ВВЕДЕНИЕ

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.км² является важной народнохозяйственной задачей. Однако подъем уровня воды на 10 – 15 м и увеличение её расхода до 33 тыс. м³/с (при среднем значении 14,8 тыс. м³/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 натурного 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 натурных 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 φ 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 отложенных 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.

ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЛЬТЫ РЕКИ МЕКОНГ И РЕГИОНОВ КМА И КУЗБАССА

1.1. Геолого-географическая характеристика дельты реки Меконг

1.1.1. Географическая и гидрологическая характеристика

Вьетнам (Социалистическая республика Вьетнам) – страна в Юго-Восточной Азии площадью 331 тыс. км². Около 1/3 территории страны заняты тропическими и субтропическими лесами. Большую часть территории занимают горы. Климат тропический, муссонный. 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. км². В период летне-осенних половодий происходят подъемы уровня на 10 – 15 м при возрастании расхода до 33 тыс. м³/сек (при среднем значении 14,8 тыс. м³/сек). Дельта реки Меконг – одна из самых обширных в мире. На ее территории находится одноимённая экономическая зона Социалистической Республики Вьетнам (вьетн. Đồng bằng sông Cửu Long) – с центром в Кантхо. Этот регион – один из самых густонаселённых в стране (18 млн. человек) [1-3]. Изучаемый регион располагается западнее Хошимина, простирается до южных окраин страны, состоит из 13 провинций (рис.1.1).

С целью вовлечения этой обширной и плотнозаселенной территории в народнохозяйственное использование целесообразно рассмотреть возможности создания в пределах дельты польдерных систем с учетом мирового и российского опыта применения гидромеханизированных технологий возведения дамб и дренажных устройств. В XXI веке район дельты реки Меконга находится под угрозой затопления из-за изменения климата (подъём уровня океана и связанные с этим многочисленные оползни берегов). Дельта реки Меконга стала известна как «биологическая сокровищница». Более 10000 видов флоры и фауны было обнаружено в ранее не изученных районах дельты, включая виды, считавшиеся вымершими.

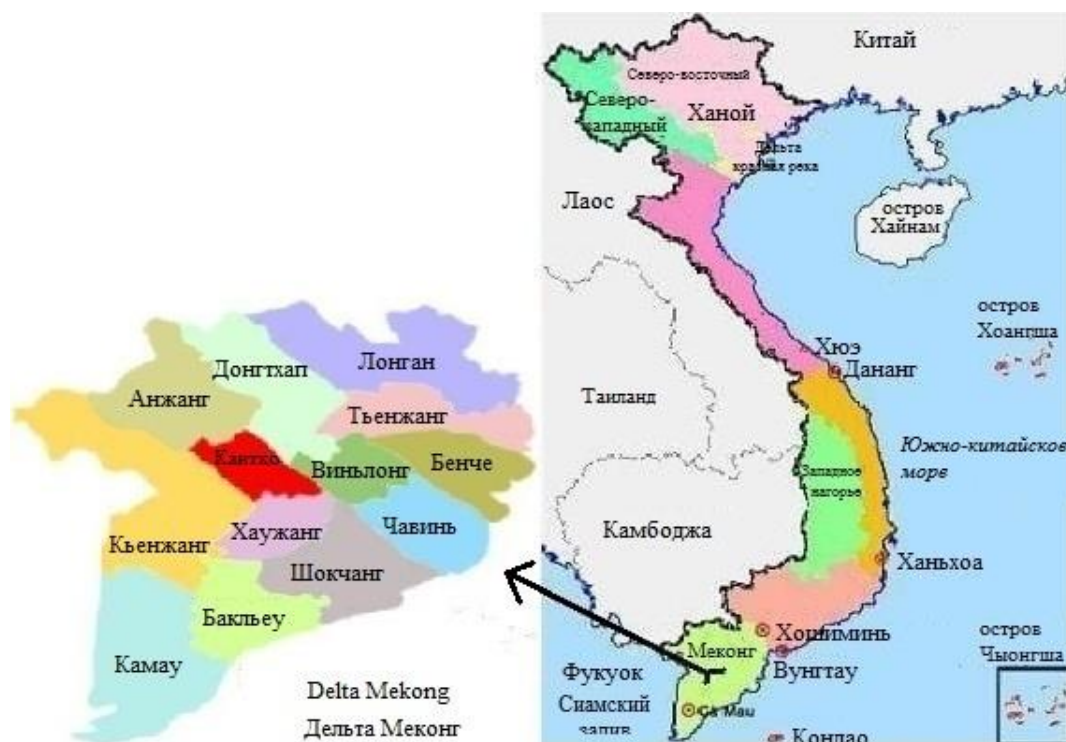


Рис. 1.1. Географическое положение области исследования

Основные типы ландшафта — поймы на юге и холмы на севере и западе. Разнообразие рельефа является результатом поднятия и складкообразования, начавшихся после столкновения евразийской и индостанской плит около 50 млн. лет назад. Почва в низовьях состоит преимущественно из отложений Меконга и его притоков [1-5].

Береговые склоны дельты находятся в оползнеопасном состоянии. До 2015 г. преобладали оползни вокруг полуостровов Камау. В настоящее время отмечаются также масштабные оползни на материке на участках соединения притоков с Меконгом. 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. (см. рис. 1.2. а, б).

1.1.2. Изучение глинистых отложений дельты реки Меконг (ДРМ)

В течение длительного времени неоднократно производились инженерно-геологические изыскания в районе дельты реки (рис. 1.3).

Проводилось колонковое бурение отложений дельты реки Меконг с отбором керна до глубин 40-60 м. Районы исследования располагались в соответствии со структурно-геоморфологическими природными компонентами дельты р. Меконг [1, 2]. В процессе исследований изучался минеральный состав глинистых отложений как по латерали, так и на глубину (рис. 1.4-1.7).



Рис. 1.2. Оползень на реке Вам Нао

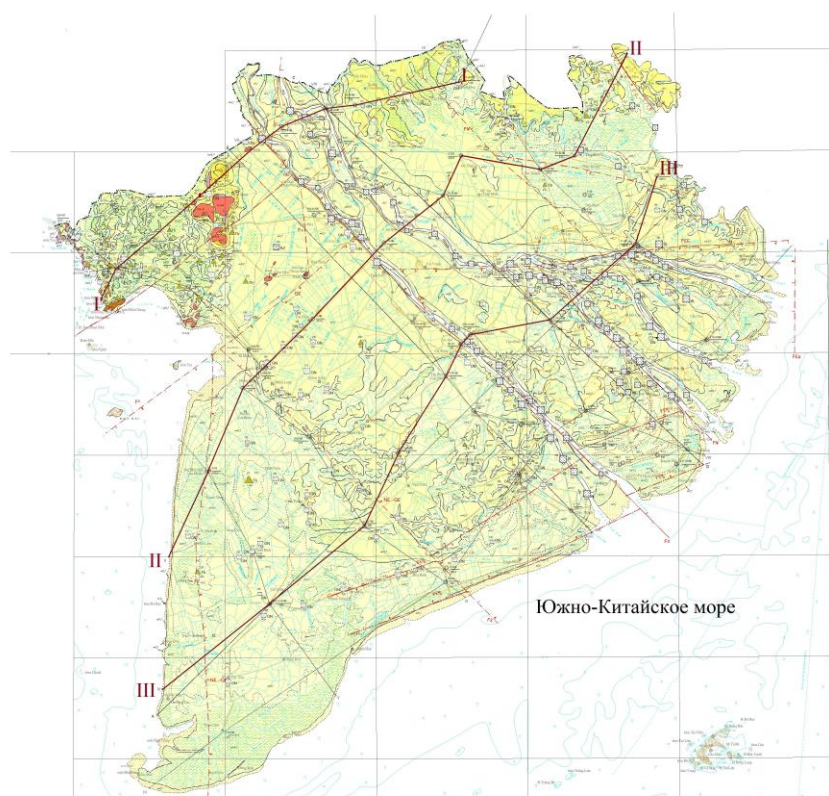


Рис. 1.3. Местоположение обследованных районов

Бурению подвергались четвертичные отложения как голоценового (современного) Q_{IV} , так и плейстоценового Q_{III-I} возрастов. Абсолютный возраст голоценовых осадков по результатам радиоуглеродного анализа составляет 5 – 5,5 тыс. лет. Наиболее молодые иловые отложения имеют возраст 1350 – 1450 лет [1, 2].

Для изучения минерального состава глинистых отложений использовался рентгеноспектральный анализ (диффрактометрия), который позволяет достаточно уверенно определять процентное содержание в смесях минералов группы монтмориллонита (на рисунках Smectite), группы гидрослюды (на рисунках Illite), группы каолинита и гидрохлорита (на рисунках Chlorite). Относительное содержание глинистых минералов (в процентах) определялось в соответствии с интенсивностью пиков отражения, характерных для минералов определенных групп [1].

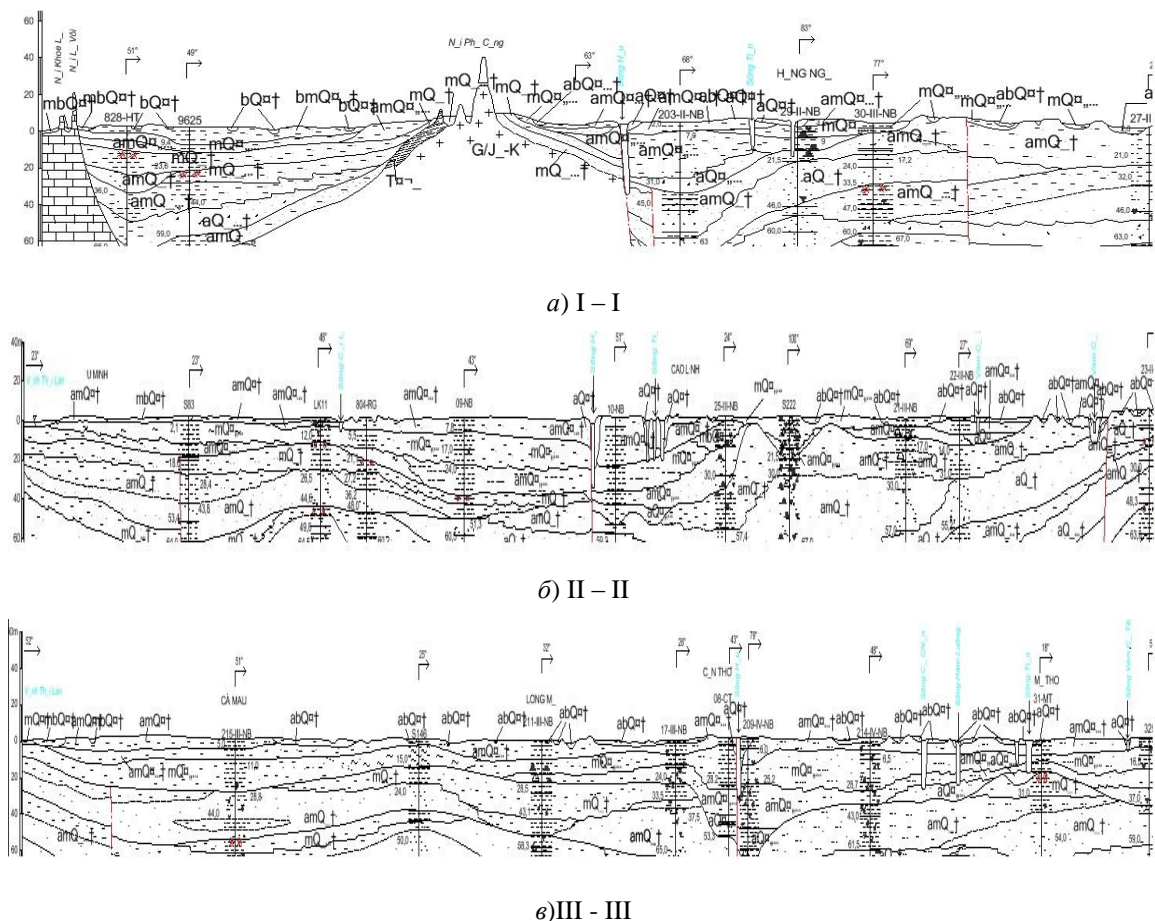
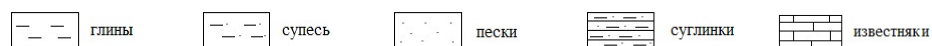


Рис. 1.4. Геологические разрезы по линиям I – I (а), II – II (б), III – III (в)



Кроме того, форма вершин пиков отражений позволяет судить о степени совершенства кристаллической структуры минералов, т.н. степени их кристалличности.

В свою очередь сравнение диффрактограмм глинистых отложений, имеющих различный относительный возраст, позволяет установить тенденции изменения их минерального состава во времени (рис 1.7).

Анализ минерального состава глинистых отложений верхней части дельты р. Меконг, верхняя граница которой располагается в районе г. Пномпень (Камбоджа), позволил установить, что в керне скважины у Моста Монивонг преобладают минералы группы гидрослюды (Illite) и каолинита (Kaolinite), в то время как минералы группы монтмориллонита (Smectite) находятся в подчиненном количестве. Однако от нижележащих слоев вверх по разрезу (район Бьенхо) количество монтмориллонита (Smectite) существенно

возрастает (рис. 1.5) [1].

Отложения срединной части дельты р. Меконг изучались в двух районах – юг реки Хау и район Донгтхапмой.

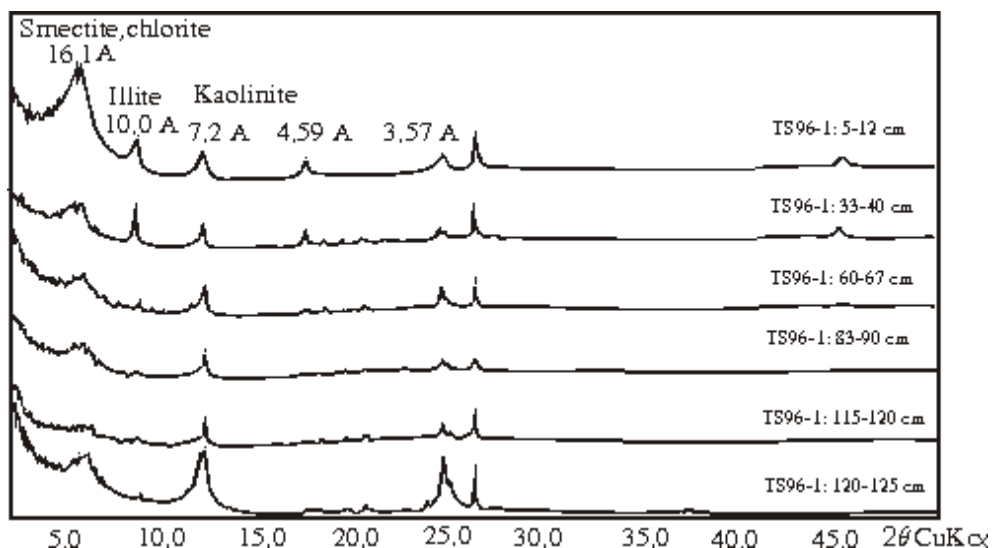


Рис. 1.5. Изменение минерального состава глинистых осадков Бьенхо с глубиной

На юге реки Хау (Фунгхьеп) в осадках вблизи дневной поверхности установлено преобладание минералов групп гидрослюд (Illite) и монтмориллонита (Smectite). В то же время вниз по разрезу до максимальной глубины бурения 15 м количество каолинита возрастает на фоне снижения концентраций гидрослюд (Illite) и монтмориллонита (Smectite) до 60 – 70 % от их содержания в поверхностных слоях.

В свою очередь к югу от территории близи Фунгхьеп в керне скважины (глубина 13 м) преобладают гидрослюды (Illite), гидрохлорит (Chlorite) и каолинит (Kaolinite), в то время монтмориллонит (Smectite) отличается в виде следов (не более 5%) (рис. 1.6).

В регионе Донгтхапмой анализ минерального состава глинистых отложений дают результаты во многом аналогичные результатам юга реки Хау.

Сравнительный анализ минерального состава глинистых отложений голоценового (Q_{IV}) и плейстоценового (Q_{III-I}) возрастов позволяет сделать вывод о том, что в голоценовых осадках доминируют гидрослюды (Illite) и каолинит (Kaolinite), в то время как в более древних плейстоценовых

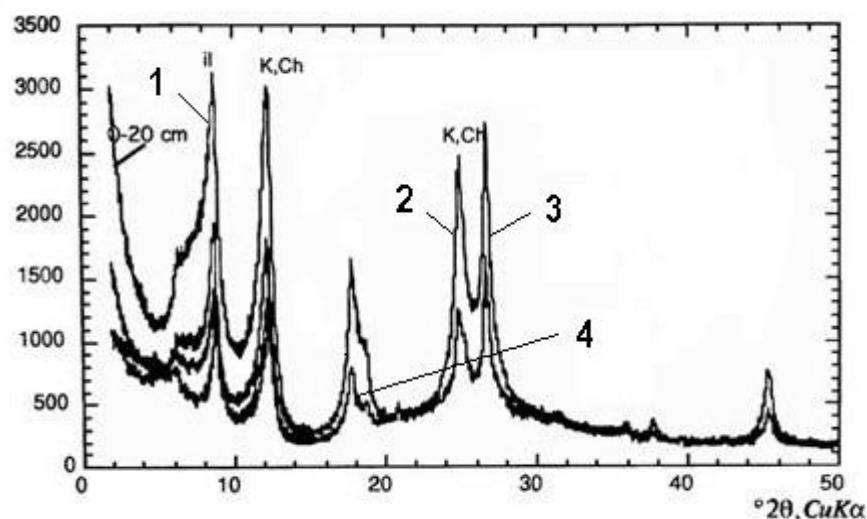


Рис. 1.6. Минеральный состав глинистых осадков в Фунгхьеп: 1 – гидрослюды; 2-каолинит; 3 – гидрохлорит; 4 - монтмориллонит

отложениях преобладают минеральные группы каолинита (Kaolinite) при подчиненном развитии гидрослюд (Illite) и незначительных (следы) концентрациях монтмориллонита (Smectite) и гидрохлорита (Chlorite) (рис 1.7).

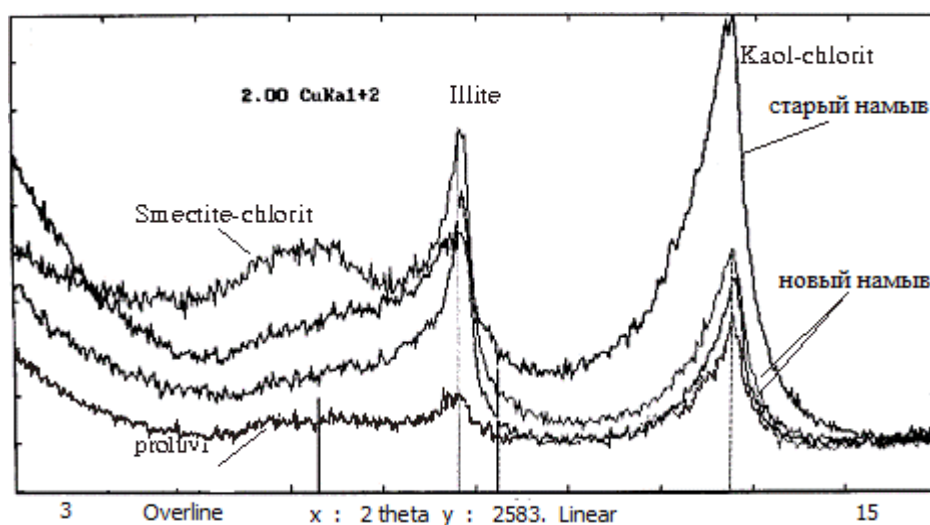


Рис 1.7. Минеральный состав гинистых отложений голоценового и плейстоценового возрастов (в регионе Донгтапмьей).

В низовьях дельты р. Меконг на полуострове Камау в глинистых осадках установлены близкие концентрации каолинита (Kaolinite), гидрослюд (Illite) и монтмориллонита (Smectite) и гидрохлоритов (Chlorite) (рис 1.8). В то же время следует отметить, что по профилю от береговой линии к внутренним районам содержание в осадках минералов группы монтмориллонита (Smectite) рав-

номерно уменьшается на фоне неравномерного уменьшения всех остальных глинистых минералов (рис 1.8). Возможно, это связано с увеличением количества терригенного материала в осадках.

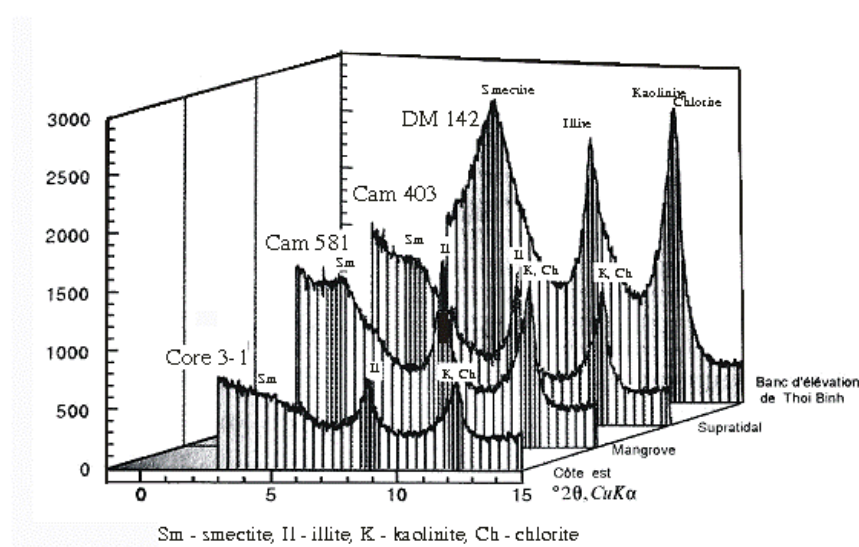


Рис 1.8. Минеральный состава глинистых отложений полуострова Камау

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 1.9 и 1.10 показан минеральный состав отложений amQ_{II}^{2-3} (глины и суглинки) в регионе ДРМ. Рис 1.11 и 1.12 представлен химический состав отложений в регионе ДРМ [3, 4].

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 %

Содержание оксидов в породе: SiO_2 - от 52,90 до 74,19%, Al_2O_3 - от 12,13 до 19,15%, F_2O_3 - от 3,16 до 9,42%, SO_3 - от 0,07 до 2,84%.

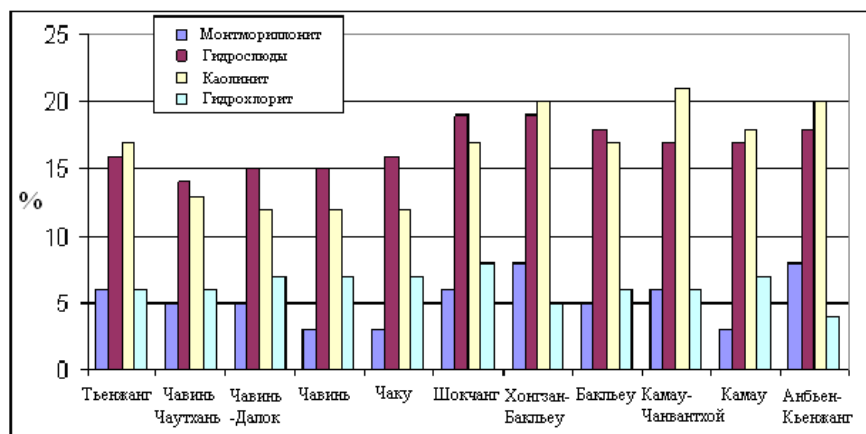


Рис 1.9. Минеральный состав глинистых пород amQ_{II}^{2-3}

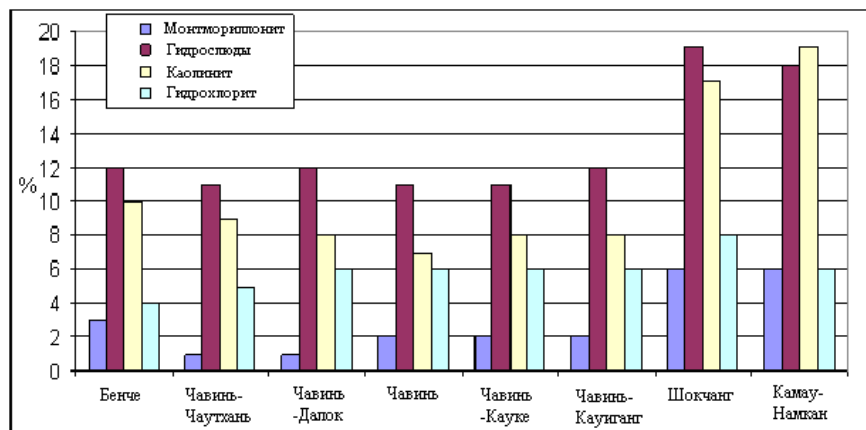


Рис 1.10. Минеральный состав суглинков amQ_{II}^{2-3}

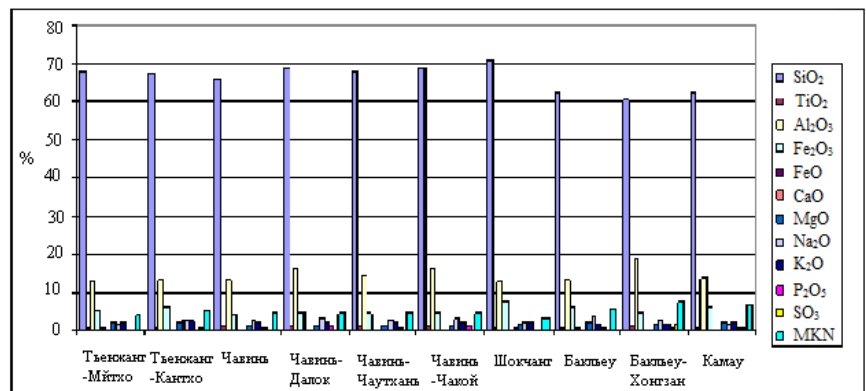


Рис 1.11. Химический состав глин amQ_{II}^{2-3}

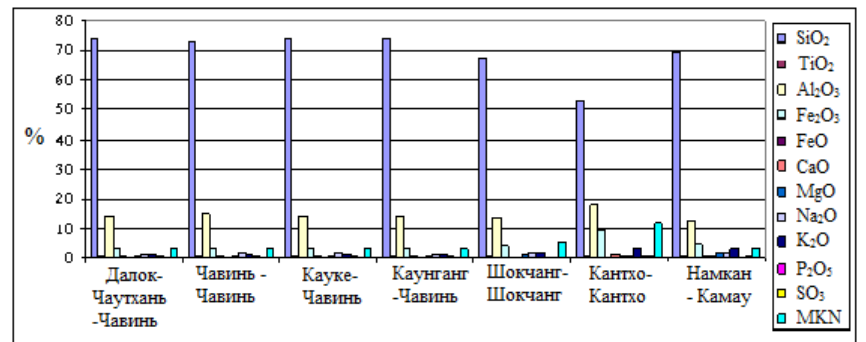


Рис 1.12. Химический состав глинистых пород amQ_{II}^{2-3}

1.1.3. Результаты определения физико-механических свойств глинистых отложений ДРМ

На основании исследований были определены водно-физические и механические характеристики глинистых отложений дельты реки Меконг, которые приведены в таблицах 1.1, 1.2. В таблицах показаны основные водно-физические (влажность W_e , плотность γ , плотность скелета γ_s , плотность минеральных частиц Δ , коэффициент пористости ε , пористость n , коэффициент водонасыщения G , предел текучести W_t , предел раскатывания W_p , число пластичности M_n) и механические свойства (сопротивление сжатию $\sigma_{сж}$, модуль деформации E , сцепление C , угол внутреннего трения φ) глин и суглинков, слагающих берега ДРМ. Определение грансостава позволило выделить глинистые и суглинистые разности пород. Также выполнены трехосные испытания (табл. 1.3).

Трехосные (стабилометрические) испытания выполнялись в неконсолидированно-недренированном (UU – unconsolidated undrained) и консолидированно-дренированном (CD - consolidated drained) режимах.

Наряду с трехосными испытаниями выполнялись также опыты на одноосное сжатие и вращательный срез (Vanetest) тонкодисперсных отложений [3].

Результаты исследований показывают, что отложения дельты реки Меконг относятся к водонасыщенным слабым грунтам ($G_{ср} \approx 0,96$ доли ед.) с преобладанием в верхнем разрезе ($h \approx 0-13,0$ м) глинистой фракции. Они обладают высоким коэффициентом пористости ($\varepsilon_{ср} \approx 1,8$), низкой фильтрационной способностью ($K_{ф.ср} \approx 6,24 \cdot 10^{-5}$ м/сут), сильной сжимаемостью ($a_{ср} \approx 1,97$ МПа⁻¹) и низкими прочностными показателями ($C_{ср} \approx 0,008$ МПа; $\varphi_{ср} \approx 4^\circ$).

Применительно к месту проведения исследований – провинции Кантхо, эти показатели для верхнего глинистого слоя на момент проведения изысканий составили: коэффициент пористости $\varepsilon \approx 1,943$; коэффициент сжимаемости $a \approx 1,54$ МПа⁻¹; сцепление $C \approx 0,0085$ МПа; угол внутреннего трения $\varphi_{ср} \approx 4^\circ 10'$ (табл. 1.1 и 1.2) [1-5].

Таблица 1.1. Водно-физические свойства глинистых пород amQ_{II}^{2-3} в регионе дельты реки Меконг (1354 образца).

| Пород | Районов исследования | Мощности | Гран. состав, % | | | Естественная влажность, $W, \%$ | Плотность, $\gamma, g/cm^3$ | Плотность скелета, $\gamma_s, g/cm^3$ | Плотность минеральных частей, $\Delta, g/cm^3$ | Коэффициент пористости, ε | Пористость, $n, \%$ | Коэффициент водонасыщения, $G, \%$ | $W_r, \%$ | $W_p, \%$ | Число пластичности, M_p | Угол внутреннего трения грунта ϕ , град | Сцепление, C , kg/cm^2 | Коэффициент сжимаемости, $a_{1,2}, cm^2/kg$ | Сопротивление одноосному сжатию, $\sigma_{сж}, kg/cm^2$ | Модуль деформации, $E, kg/cm^2$ |
|-----------|-------------------------|----------|-----------------|---------------|------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---|--|---------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|---------------------------|---|----------------------------|---|---|------------------------------------|
| | | | 2- 0,05 мм | 0,05-0,002 мм | < 0,002 мм | | | | | | | | | | | | | | | |
| Глины | Тьенжанг | 9,0 | 19,8 | 40,2 | 43,4 | 62,1 | 1,56 | 0,96 | 2,65 | 1,756 | 63,7 | 93,9 | 53,4 | 31,4 | 22,0 | 2°06' | 0,097 | 0,384 | 0,50 | 3,0 |
| | Лонган | 11,0 | 13,1 | 38,5 | 49,4 | 79,0 | 1,51 | 0,84 | 2,62 | 2,119 | 67,9 | 97,8 | 68,1 | 37,9 | 30,2 | 3°35' | 0,070 | 0,296 | 0,48 | 4,2 |
| | Бенче | 5,2 | 19,2 | 43,4 | 43,0 | 54,9 | 1,56 | 1,01 | 2,66 | 1,641 | 62,1 | 88,9 | 50,2 | 28,8 | 21,4 | 3°05' | 0,090 | 0,124 | 0,53 | 8,5 |
| | Чавинь | 4,8 | 25,1 | 38,1 | 39,0 | 55,3 | 1,63 | 1,05 | 2,66 | 1,529 | 60,5 | 96,1 | 47,5 | 27,8 | 19,7 | 3°13' | 0,093 | 0,119 | 0,57 | 3,3 |
| | Анжанг | 10,0 | 14,1 | 51,8 | 44,7 | 63,9 | 1,55 | 0,94 | 2,65 | 1,802 | 64,3 | 93,8 | 55,4 | 32,6 | 22,8 | 1°38' | 0,074 | 0,154 | 0,42 | 7,3 |
| | Камау | 13,0 | 13,0 | 36,9 | 52,5 | 74,7 | 1,52 | 0,87 | 2,62 | 2,016 | 66,8 | 97,0 | 57,5 | 31,2 | 26,3 | 3°03' | 0,063 | 0,168 | 0,44 | 7,2 |
| | Виньлонг | 9,0 | 15,5 | 37,0 | 48,3 | 66,8 | 1,56 | 0,94 | 2,64 | 1,818 | 64,5 | 96,8 | 61,5 | 34,9 | 26,5 | 3°54' | 0,060 | 0,178 | 0,45 | 6,3 |
| | Донгтхап | 7,0 | 9,05 | 45,1 | 48,8 | 66,7 | 1,49 | 0,90 | 2,66 | 1,966 | 66,3 | 90,1 | 54,6 | 31,3 | 23,3 | 1°42' | 0,052 | 0,158 | 0,35 | 7,5 |
| | Шокчанг | 11,0 | 11,6 | 39,0 | 50,3 | 58,8 | 1,58 | 1,00 | 2,66 | 1,671 | 62,6 | 93,5 | 52,7 | 27,9 | 24,8 | 2°00' | 0,085 | 0,140 | 0,52 | 7,6 |
| | Бакльеу | 10,0 | 26,9 | 21,8 | 53,1 | 75,3 | 1,52 | 0,87 | 2,64 | 2,044 | 67,2 | 97,2 | 63,8 | 31,2 | 32,6 | 4°06' | 0,098 | 0,204 | 0,60 | 5,9 |
| | Хаужанг | 7,0 | 13,0 | 48,9 | 38,2 | 81,9 | 1,49 | 0,82 | 2,64 | 2,233 | 69,1 | 97,0 | 64,9 | 26,2 | 38,7 | 2°54' | 0,064 | 0,272 | 0,42 | 4,8 |
| | Кьенжанг | 9,0 | 18,9 | 33,3 | 51,3 | 67,6 | 1,58 | 0,94 | 2,64 | 1,806 | 64,4 | 98,8 | 58,6 | 30,7 | 27,9 | 2°40' | 0,078 | 0,209 | 0,48 | 5,4 |
| | Кантхо | 15,0 | 26,0 | 40,6 | 43,1 | 70,6 | 1,52 | 0,89 | 2,63 | 1,943 | 66,0 | 95,4 | 55,3 | 28,9 | 26,4 | 4°10' | 0,085 | 0,154 | 0,56 | 7,7 |
| | Ср. | 9,3 | 17,3 | 39,6 | 46,5 | 67,5 | 1,54 | 0,92 | 2,64 | 1,869 | 65,1 | 95,5 | 56,3 | 30,8 | 25,5 | 3°37' | 0,08 | 0,197 | 0,49 | 6,1 |
| Суглиники | Тьенжанг | 3,0 | 39,2 | 39,1 | 21,8 | 43,8 | 1,66 | 1,15 | 2,66 | 1,308 | 56,7 | 89,0 | 38,7 | 25,5 | 13,2 | 4°45' | 0,106 | 0,212 | 0,61 | 7,0 |
| | Лонган | 8,0 | 53,7 | 22,5 | 21,3 | 36,8 | 1,79 | 1,31 | 2,67 | 1,039 | 51,0 | 94,6 | 36,7 | 20,9 | 15,8 | 7°37' | 0,111 | 0,161 | 0,82 | 16,4 |
| | Бенче | 14,0 | 39,6 | 14,8 | 24,4 | 43,2 | 1,64 | 1,14 | 2,66 | 1,322 | 56,9 | 86,9 | 40,3 | 25,9 | 14,4 | 3°15' | 0,094 | 0,168 | 0,57 | 8,6 |
| | Анжанг | 3,5 | 60,7 | 19,0 | 20,3 | 38,1 | 1,74 | 1,26 | 2,69 | 1,131 | 53,1 | 90,7 | 30,4 | 21,2 | 9,2 | 5°04' | 0,098 | 0,092 | 0,67 | 17,5 |
| | Камау | 5,0 | 25,3 | 50,0 | 24,7 | 43,0 | 1,72 | 1,20 | 2,68 | 1,230 | 55,2 | 93,6 | 37,3 | 25,6 | 11,7 | 4°48' | 0,082 | 0,090 | 0,59 | 17,0 |
| | Виньлонг | 12,0 | 21,2 | 47,0 | 31,8 | 46,6 | 1,72 | 1,17 | 2,68 | 1,285 | 56,2 | 97,3 | 38,7 | 25,7 | 13,0 | 3°48' | 0,096 | 0,135 | 0,60 | 5,1 |
| | Донгтхап | 5,1 | 49,3 | 26,7 | 26,0 | 46,0 | 1,71 | 1,17 | 2,66 | 1,277 | 56,1 | 95,8 | 40,7 | 26,6 | 14,1 | 3°52' | 0,043 | 0,181 | 0,42 | 7,8 |
| | Шокчанг | 11,0 | 18,8 | 56,3 | 27,0 | 44,3 | 1,62 | 1,12 | 2,67 | 1,378 | 58,0 | 85,6 | 42,4 | 25,7 | 16,6 | 3°53' | 0,111 | 0,123 | 0,64 | 12,0 |
| | Анжанг | 14,0 | 44,7 | 33,3 | 22,3 | 42,4 | 1,71 | 1,20 | 2,65 | 1,206 | 54,7 | 93,1 | 37,3 | 22,8 | 14,4 | 7°01' | 0,098 | 0,098 | 0,77 | 35,2 |
| | Ср. | 9,0 | 39,2 | 34,3 | 24,4 | 42,7 | 1,70 | 1,19 | 2,67 | 1,239 | 55,3 | 91,9 | 38,0 | 24,4 | 13,6 | 4°05' | 0,093 | 0,140 | 0,631 | 14,1 |

Таблица 1.2. Грансостав и водно-физические свойства глинистых пород amQ_{II}^{2-3} в дельте реки Меконг (500 образцов).

| Физические свойства | | Районов исследования | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|--------|------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | | Лонфу (Шокчанг) | Бакльеу (Бакльеу) | Чавинь (Чавинь) | Хонгзан (Бакльеу) | Гоконг (Гьенжанг) | Лонгхо (Виньлонг) | Тангхань-Мйан (Донгхап) | Мйтхо (Гьенжанг) | Кангхо | Виньлонг (Виньлонг) | среднее значение | Чавинь (Чавинь) | Лонгхо (Виньлонг) | Мйтхо (Гьенжанг) | Среднее значение |
| | | Глины | | | | | | | | | | | Суглинки | | | |
| Состава частиц по крупности. | 1-0,5 | | | | | | 0,5 | | | 0,1 | | 0,3 | | 0,9 | | 0,9 |
| | 0,5-0,25 | | | | | 1,7 | 0,3 | 0,4 | 1,3 | 0,1 | 1,0 | 0,8 | | 1,4 | 2,7 | 2,1 |
| | 0,25-0,1 | 5,8 | | 3,0 | 3,4 | 2,3 | 2,1 | 2,1 | 2,6 | 0,2 | 3,4 | 2,8 | 3,8 | 10,9 | 14,7 | 9,8 |
| | 0,1-0,05 | 13,0 | 1,5 | 20,2 | 8,9 | 11,5 | 16,5 | 21,5 | 18,4 | 8,5 | 14,9 | 13,5 | 31,0 | 24,7 | 24,6 | 26,8 |
| | 0,05-0,01 | 29,3 | 20,1 | 29,0 | 32,1 | 31,5 | 31,2 | 23,6 | 26,4 | 30,8 | 31,6 | 28,6 | 35,5 | 27,5 | 29,0 | 30,7 |
| | 0,01-0,005 | 11,6 | 20,0 | 11,9 | 10,1 | 12,5 | 14,1 | 13,4 | 13,7 | 20,4 | 12,0 | 14,0 | 7,4 | 11,3 | 8,5 | 9,1 |
| | <0,005 | 40,4 | 58,4 | 35,9 | 44,9 | 41,4 | 35,3 | 39,0 | 37,6 | 39,8 | 36,8 | 41,0 | 22,4 | 23,1 | 20,5 | 22,0 |
| Влажность $W, \%$ | | 76,3 | 69,5 | 58,5 | 75,0 | 79,1 | 59,8 | 60,6 | 83,1 | 83,9 | 54,5 | 70,0 | 51,7 | 48,4 | 52,6 | 50,9 |
| Плотность $\gamma, g/cm^3$ | | 1,53 | 1,57 | 1,6 | 1,47 | 1,48 | 1,64 | 1,6 | 1,52 | 1,48 | 1,68 | 1,56 | 1,63 | 1,71 | 1,68 | 1,67 |
| Плотность скелета, $\gamma_s, g/cm^3$ | | 0,87 | 0,93 | 1,01 | 0,84 | 0,83 | 1,03 | 1,00 | 0,83 | 0,80 | 1,09 | 0,92 | 1,07 | 1,15 | 1,10 | 1,11 |
| Плотность минеральных частиц, $\Delta, g/cm^3$ | | 2,63 | 2,70 | 2,61 | 2,59 | 2,63 | 2,71 | 2,66 | 2,69 | 2,65 | 2,69 | 2,66 | 2,62 | 2,68 | 2,67 | 2,66 |
| Коэффициент пористости ε | | 2,031 | 1,915 | 1,586 | 2,083 | 2,183 | 1,641 | 1,670 | 2,240 | 2,293 | 1,474 | 1,912 | 1,438 | 1,326 | 1,425 | 1,396 |
| $W_L, \%$ | | 67,0 | 64,0 | 52,5 | 55,4 | 57,6 | 41,3 | 51,0 | 64,0 | 65,8 | 41,2 | 56,0 | 46,7 | 32,5 | 41,0 | 40,1 |
| $W_p, \%$ | | 34,0 | 28,0 | 33,6 | 26,1 | 27,2 | 23,1 | 27,0 | 30,8 | 26,4 | 23,1 | 27,9 | 31,7 | 22,0 | 25,5 | 26,4 |
| Число пластичности, M_p | | 32,9 | 36,0 | 18,8 | 29,3 | 30,5 | 18,2 | 24,0 | 33,2 | 39,4 | 18,1 | 28,0 | 15,0 | 10,5 | 15,5 | 13,8 |
| Коэффициент фильтрации, $K_{\phi} \cdot 10^{-7} cm/s$ | | 2,19 | 0,16 | 0,31 | 0,16 | 0,42 | 0,37 | 1,01 | 0,61 | 0,79 | 0,35 | 0,64 | 0,45 | 0,59 | 2,08 | 1,04 |

Таблица 1.3. Результаты исследований прочности глинистых отложений ДРМ (518 образцов).

| Методы исследования | Параметр | глины | | | суглинки | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | | Ср. | Мак. | Мин. | Ср. | Мак. | Мин. |
| Трехосное сжатие UU | С, КПа | 16,2 | 22,8 | 10 | 12,6 | 16,1 | 9,2 |
| | φ, градус | 0°16' | 1°58' | 0°00' | 3°26' | 4°44' | 1°13' |
| Трехосное сжатие CD с измерением порового давления воды | С, КПа | 13,0 | 15,0 | 11,0 | 6,2 | 10,1 | 3,2 |
| | φ, градус | 14°04' | 15°40' | 12°00' | 13°31' | 16°56' | 10°45' |
| | С', КПа | 18,0 | 23,0 | 13,0 | 5,4 | 9,3 | 2,4 |
| | φ', градус | 24°52' | 27°44' | 19°29' | 21°34' | 24°59' | 18°48' |
| Одноосное сжатие | σ _c , КПа | 12,9 | 15,2 | 4,8 | 20,3 | 22,2 | 15,6 |
| Вращательный срез | τ, КПа | 18,5 | 31,2 | 14,5 | 16,4 | 19,0 | 13,0 |

Установлено, что прочностные и деформационные характеристики грунтов дельты р. Меконг незначительно отличаются от аналогичных показателей намывных отложений гидроотвалов глинисто-меловых 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 [6-9].

1.2. Геологическая характеристика регионов КМА и Кузбасса

1.2.1. Общие сведения о месторождениях КМА

Месторождения КМА преимущественно размещаются в Белгородской, Курской и Орловской областях в южной части среднерусской возвышенности на равнине (абсолютные отметки порядка 100 – 300 м) с высокой эрозионной расчлененностью овражно-балочной сетью (рис. 1.13).

Месторождения КМА располагаются в пределах Воронежской антеклизы, ее рудно-кристаллической толщи асимметричной конфигурации с пологим северным и крутым южным склонами. В результате окисления железистых кварцитов в их коре выветривания образовались богатые железные руды. Складчатый кристаллический фундамент перекрыт осадочным чехлом из палеозойских, мезозойских и кайнозойских отложений [10].

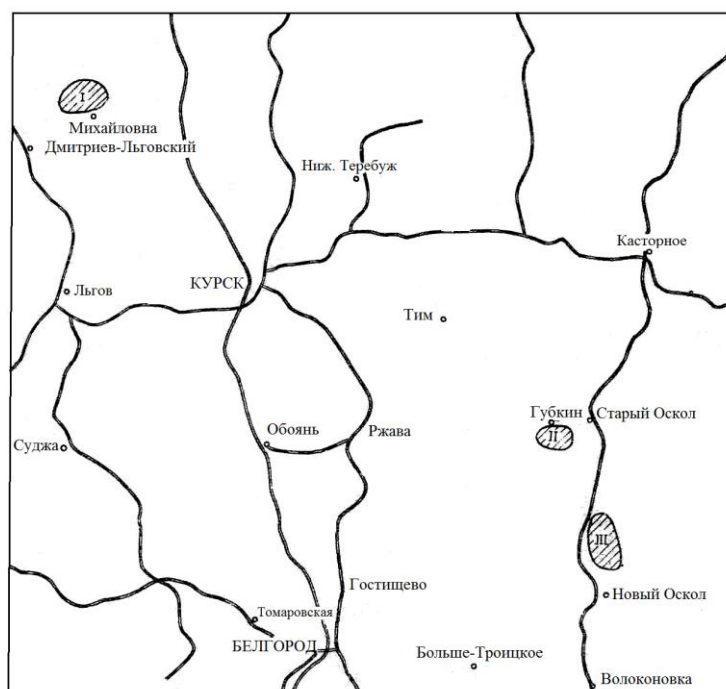


Рис. 1.13.

- I - Михайловский железорудный район
- II - Старо-Оскольский железорудный район
- III - Ново-Оскольский железорудный район

Покровные отложения залегают практически горизонтально, причем мощность осадочного комплекса в центральных частях Воронежского массива колеблется в пределах 100 м. В южном направлении вследствие опускания массива мощность увеличивается до 300-500 м.

На территории КМА распространены два крупных артезианских бассейна: большая ее часть представляет собой северо-восточное крыло Днепровско-Донецкого артезианского бассейна, а меньшая - южное крыло Московского артезианского бассейна. Это предопределило обилие подземных вод, залегающих в сравнительно мощных пластах выдержанных по площади водопроницаемых пород – мела, песков, известняков, мергеля и трещиноватых железистых кварцитов [10].

К рассматриваемому времени открытые горные работы ведутся на двух группах месторождений КМА – Старо-Оскольской и Михайловской. Проектируются карьеры Ново-Оскольской группы месторождений [11, 12].

Михайловский железорудный район

Михайловское месторождение расположено 100 км северо-западнее Курска и включает Веретенинский, Остаповский и Курбакинский участки. Рудно-кристаллическая толща сложена сланцево-гнейсовыми породами нижнего протерозоя и железистыми кварцитами среднего протерозоя. Мощность осадочного чехла над рудной толщей изменяется в пределах 25 – 40 м (Веретенинский участок), 100 – 130 м (Остаповский участок), 130 – 150 м (Курбакинский участок). Средняя мощность рудных залежей меняется соответственно в пределах 12 - 30,5 м. Богатые железные руды залегают в карманах, расположенных в “головах” железистых кварцитов.

Кристаллические породы в районе месторождения перекрываются толщей осадочных пород, состав, мощность и характерные особенности распространения которых отражены в табл.1.4 [10, 11].

Таблица 1.4. Сводная литолого-стратиграфическая таблица Михайловского месторождения (надрудный комплекс)

| Система | Отдел | Индекс | Литологическое описание | Мощность | Дополнительные сведения |
|--------------|---------|-----------------|--|----------|---|
| Четвертичная | | Q | Лёссовидные палево-желтые суглинки. В речных долинах и балках развиты аллювиальные и делювиальные суглинки | 0-25 | Мощность возрастает по направлению к водораздельным площадям. В долинах рек и балок подвержены |
| Меловая | Верхний | K_{1+2}^{alb} | Пески светло-желтые, мелкозернистые местами ожелезненные | 0-15 | Мощность резко колеблется по простиранию. В районах речных долин полностью или частично размыты |
| | Нижний | K_1^{apt} | Светло-серые тонкозернистые пески и серые песчаные глины | 6-7 | Максимальная мощность на водоразделах; в долинах рек и балок полностью или частично размыты |
| | | K_1^{nc} | Темно-серые глинистые пески, переходящие к основанию слоя в песчаные глины | 2-5 | Верхняя часть по литологическому составу менее выдержана: наблюдаются частные, но нерезкие переходы между песчаными и глинистыми разностями |
| Юрская | Верхний | J_3^k | Песчаные глины и темно-серые глинистые пески; в нижней части – плотные алевроитовые глины | 7-8 | Распространены повсеместно |
| | | J_3^{cl} | Плотные темно-серые трещиноватые; в основании слоя залегает ракушняк с глинистым заполнителем | 4-30 | Хорошо выдержаны по мощности и распространению. Минимальные мощности приурочены к участкам с повышенными отметками докембрийского кристаллического фундамента |
| | Средний | J_2^{bt} | Пески буровато-желтые мелкозернистые, реже среднезернистые и крупнозернистые, углистые, черные пылеватые плотные глины | 0-30 | Колебания мощности обусловлены неровной поверхностью девонский отложений, а в местах, где последние размыты – сложным рельефом докембрийского фундамента |
| Девонская | Верхний | D3 | Преобладают пестроцветные глины и алевроиты; в меньшей степени распространены пески и известняки | 0-30 | Колебания отметок поверхности докембрийского фундамента приводят к частым изменениям мощности. В сторону Веретенинской возвышенности выклиниваются |

Старо-Оскольский железорудный район

Старо-Оскольский железорудный район находится в центральной части северо-восточной полосы магнитных аномалий и приурочен к крупному антиклинальному поднятию докембрийских кристаллических пород. В этом районе разведаны Лебединское, Южно-Лебединское и Стойленское месторождения. Богатые руды представлены плотными и рыхлыми разностями и залегают в виде крупных линз и слоев неправильной формы. Глубина залегания и мощность залежей богатых руд характеризуются следующими значениями [10-13]:

| | Глубина залегания, м | Средняя мощность, м |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|
| Лебединское месторождение | 71 | 21 |
| Южно-Лебединское месторождение | 108 | 15 |
| Стойленское месторождение | 140 | 15-20 |

Комплекс осадочных пород представлен преимущественно песчано-глинистыми отложениями суммарной мощностью, в среднем 100-140 м. Литолого-стратиграфические подразделения и характерные особенности осадочной толщи отражены в табл. 1.5.

Таблица 1.5. Сводная литолого-стратиграфическая таблица месторождений Старо-Оскольского железорудного района (надрудный комплекс)

| Система | Отдел | Индекс | Литологическое описание | Мощность по месторождениям, м | | | Дополнительные сведения |
|--------------|-------------------|--------------------|--|-------------------------------|------------------|-------------|---|
| | | | | Лебединское | Южно-Лебединское | Стойленское | |
| Четвертичная | | Q | Лессовидные желто-бурые суглинки; в нижней части темно-бурые плотные суглинки | 8-16 | 1-40 | 2-18 | Распространены повсеместно. Максимальные мощности приурочены к водораздельным площадям |
| Меловая | Верхний | $K_2^{srt+tn+cn}$ | Мергели светлосерые и белые трещиноватые; мел белый писчий трещиноватый, в нижней части - опесчаненные | 5-60 | 6-93 | 21-93 | Распространены повсеместно. Мощность определяется колебаниями отметок поверхности |
| | Нижний | K_{1+2}^{alb+cm} | Пески желто-бурые, мелко- и среднезернистые кварцевые, местами слабоглинистые, в нижней части наблюдаются прослои крупнозернистые и гравелистых песков | 23-38 | 10-40 | 18-40 | Распространены повсеместно. На Южно-Лебединском месторождении максимальные значения мощности приурочены к северному участку |
| Юрская | Верхний | J ₃ | Зеленовато-серые песчаные глины и глинистые пески средней плотности; на отдельных участках – черные плотные жирные глины | 0-25 | 0-25 | 0-35 | На отдельных участках выклиниваются. Жирные глины встречены на севере Лебединского месторождения |
| Девонская | Верхний и средний | D _{2,3} | Темно-серые надрудные брекчии и песчаники, реже – пестроцветные тонкослоистые плотные глины | 0-15 | 0-23 | 0-25 | Максимальная мощность в пониженных участках докембрийского фундамента. Распространены лишь на отдельных участках |

Ново-Оскольский железорудный район

В состав Ново-Оскольского железорудного района входят Погромецкое и Чернянское месторождения. Район охватывает южную часть северо-восточной полосы КМА, частично располагаясь в пределах сводовой части и южного крыла Воронежской антиклизы.

Докембрийский кристаллический фундамент в северной и северо-восточной частях района залегает на глубине 150 - 200 м. В южном и юго-западном направлении он постепенно погружается и в южной части района достигает глубин порядка 300 - 400 м.

Осадочные отложения представлены комплексом пород, трансгрессивно и с большим стратиграфическим перерывом залегающих на породах кристаллического фундамента. Осадочный комплекс сложен преимущественно мезокайнозойскими отложениями. Палеозойские породы (девон и карбон) имеют меньший удельный вес. В табл. 1.6 осадочная толща рассматривается применительно к участкам Погромецкого и Чернянского месторождений.

Таблица 1.6. Сводная литолого-стратиграфическая таблица месторождений Ново-Оскольского железорудного района (надрудный комплекс)

| Система | Отдел | Индекс | Литологическое описание | Мощность по месторождениям, м | | Дополнительные сведения |
|------------------|---------|----------------|---|-------------------------------|-------------|--|
| | | | | Чернянское | Погромецкое | |
| Четвертичная | | Q | Покровные суглинки, делювиально-элювиальные отложения | До 10 | До 10 | Распространены повсеместно (на водораздельных пространствах, в речных долинах и балках) |
| Третичная | | | Пески и глины | 0-15 | 0-10 | |
| | Верхний | K_2^{camp} | Мел белый писчий трещиноватый, местами мергелистый | 0-60 | 0-60 | Максимальная мощность в пределах водораздельных участков. Местами размыт эрозийными процессами. На участках глубокого эрозийного размыва отсутствует |
| | | K_2^{int} | Мергель слюистый или мелоподобный, слабо трещиноватый | 30 | 24-30 | |
| | | K_2^{tn+cn} | Мел белый плотный, местами сильно трещиноватый | 75-80 | 75-80 | |
| | | K_2^{cm} | Песок глинистый мелкозернистый, в основании наблюдается фосфоритовая галька | 10-15 | 6-13 | |
| | Нижний | K_1^{alb} | Песок мелко- и среднезернистый | 10-15 | 15-20 | |
| | | K_1^{apt+nc} | Песок глинистый мелкозернистый, в основании – с глауконитом | 6-10 | 5-12 | |
| | Верхний | J_3^k | Песок тонкозернистый, глина песчаная и аргиллит | 3-5 | 5-7 | |
| | | J_3^{of} | Глина, переходящая к подошве слоя в глину песчаную известковистую. В средней части залегает слой известняка (0,5-1,5 м) | | 3-5 | |
| | | J_3^{cl} | Песок разнозернистый, известковистый | 30-34 | 2-6 | |
| | Нижний | J_3^{bat} | Переслаивание тонкозернистых песков и глин, преобладают пески | | ~10 | |
| | | J_3^{bat+bj} | Плотные глины с гнездами и прослоями песков и песчаных глин | | 3-30 | |
| Каменно-угольная | | C^{vits} | Песчано-глинистые отложения с пачками и прослоями известняков | 0 | 0-70 | В местах с повышенными отметками кристаллического фундамента отсутствуют (Погромецкое месторождение) |
| Девонская | | D_3^{fm} | Пески и доломитизированные известняки | 0-40 | - | Залегают на склонах поднятий докембрийского фундамента |

Погромецкий участок расположен в 4 км к северу от г. Новый Оскол. Рудная залежь по простиранию прослеживается на расстоянии 10 – 12 км. Мощность залежи богатых железных руд в среднем - 18,7 м, при глубине залегания от 160 до 235 м. Чернянский участок находится в северо-западной части Ново-Оскольского железорудного района, в 3 - 5 км к северо-востоку от железнодорожной станций Чернянка. Массив железистых кварцитов, к которому приурочены богатые железные руды, имеет длину 5 км и ширину 1,6 км и вытянут в северо-западном направлении. Рудная залежь по форме плащеобразная, с относительно ровной верхней и более сложной нижней поверхностью. Руда залегает на глубине от 165 до 181 м [10-13].

1.2.2. Характеристика региона Кузбасса

Наибольший интерес в контексте данной работы представляют объекты, расположенные в Кузбассе, - это отвальные насыпи и гидроотвалы, которые расположены на территории предприятий угольной компании «Кузбассразрезуголь», осуществляющей угледобычу открытым способом [14].

Развитие добывающей промышленности в Кузбассе последние годы ассоциируется с увеличением объемов открытых горных работ. На объектах Управляющей Компании «Кузбассразрезуголь» с 50-годов прошлого столетия перемещено около 1 миллиарда м³ вскрышных пород в более чем пятьдесят гидроотвалов, занимающих в совокупности площадь порядка 7 тыс.га [15]. Сложившаяся ситуация обуславливает необходимость разработки комплекса природоохранных мероприятий по рациональному использованию земельных ресурсов и максимально возможному вовлечению в промышленное использование площадей техногенных массивов.

1.3. Водно-физические и механические свойства намывных тонкодисперсных грунтов КМА и Кузбасса

В пределах КМА и Кузбасса сформированы намывные массивы гидроотвалов глинисто-меловых и глинистых пород (мощность до 75 м). На КМА в гидроотвалы уложено около 500 млн. м³, в Кузбассе – около 1 млрд. м³. Ниже приводятся обобщенные характеристики водно-физических и

механических свойств намывных тонкодисперсных отложений гидроотвалов КМА и Кузбасса (табл. 1.7) [7].

Таблица 1.7. Обобщенные характеристики водно-физических и механических свойств намывных тонкодисперсных отложений гидроотвалов КМА и Кузбасса

| Гидроотвал, зона | Степень уплотнения | | | |
|------------------------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | U=0 | | U=1 | |
| | φ_z , градус | C_z , МПа | φ_k , градус | C_k , МПа |
| «Березовый Лог» (КМА): | | | | |
| вторая секция | 6 | 0,01 | 15 | 0,035 |
| глинисто-меловые линзы в песчаной | 5 | 0,05 | 16 | 0,025 |
| упорной призме (пляжная зона) | | | | |
| первая секция (промежуточная зона) | 4 | 0,01 | 18 | 0,03 |
| «Симонова пасека» (КМА): | | | | |
| пляж | 7 | 0,015 | 20 | 0,02 |
| ядро | 5 | 0,01 | 16 | 0,04 |
| «Свободный» (Кузбасс): | | | | |
| пляж | 6 | 0,02 | 29 | 0,03 |
| ядро | 4 | 0,016 | 23 | 0,0175 |
| «Новобачатский» (Кузбасс): | | | | |
| пляж | 7 | 0,015 | 20 | 0,01 |
| ядро | 4 | 0,012 | 16 | 0,02 |
| «Южный» (Кузбасс): | | | | |
| ядро | 3 | 0,005 | 20 | 0,015 |

При определении сопротивления сдвигу тонкодисперсных намывных масс на универсальных стабилometрах М-2 и УСВ-2 разрушение образцов с начальными влажностью и плотностью, близкими к естественным, производили в условиях закрытой системы (неконсолидированно-недренированные испытания) и при консолидированно-недренированных испытаниях, в ходе которых грунт сначала уплотняли до полной стабилизации под приложенной нагрузкой и затем доводили до разрушения при быстром снижении бокового давления в рабочей камере прибора. Характеристики сопротивления сдвигу грунтов гидроотвалов КМА и Кузбасса, полученные в лабораторных условиях для консолидированных ($U = 1$, $C = C_k$, $\varphi = \varphi_k$) и неконсолидированных образцов ($U = 1$, $C = C_z$, $\varphi = \varphi_z$), приведены в табл. 1.7. При определении φ и C вертикальное давление изменяли в диапазоне 0,2 – 0,4 – 0,8 МПа. Характеристики гранулометрического состава и водно-физических свойств грунтов этих гидроотвалов Кузбасса приведены в табл. 1.8 [6, 9, 16-25].

Таблица 1.8. Гранулометрический состав и водно-физические свойства грунтов гидроотвалов Кузбасса

| Гидроотвал | Зона | Содержание частиц, % | | | Плотность минеральных частиц Δ , г/см ³ | Плотность γ , г/см ³ | Пористость n , % | Влажность W , % | Начальный коэффициент пористости ε | Коэффициент водонасыщения, G |
|--|------------------------|----------------------|-----------------|------------|---|--|--------------------|-------------------|--|--------------------------------|
| | | > 0,05, мм | 0,05 – 0,005 мм | < 0,005 мм | | | | | | |
| «Новобачатский» разреза «Краснобродский» | пляжная | - | - | - | 2,65 | 1,9 | 0,45 | 31 | 0,83 | 1 |
| | промежуточная | 12,8 | 56 | 31,2 | 2,7 | 1,9 | 0,47 | 32,5 | 0,88 | 1 |
| | прудковая (ядерная) | 8,9 | 50 | 41,1 | 2,75 | 1,88 | 0,5 | 34,9 | 0,97 | 1 |
| № 3 разреза «Кедровский» | пляжная | 23,4 | 58,1 | 18,5 | 2,66 | 1,9 | 0,46 | 31,2 | 0,84 | 0,97 |
| | промежуточная | 19,7 | 57,3 | 23 | 2,7 | 1,88 | 0,48 | 34 | 0,93 | 0,99 |
| | прудковая | 14,8 | 53,2 | 32 | 2,73 | 1,87 | 0,49 | 35,2 | 0,97 | 1 |
| «Бековский» разреза им. 50-летия Октября | пляжная | 17,6 | 76,4 | 6 | 2,67 | 2 | 0,45 | 36 | 0,83 | 1 |
| | промежуточная | 14,3 | 69,2 | 16,5 | 2,72 | 1,94 | 0,18 | 36 | 0,92 | 1 |
| | прудковая | 11,8 | 58,4 | 29,8 | 2,76 | 1,9 | 0,49 | 34,8 | 0,96 | 1 |

Районирование территории гидроотвала «Березовый Лог» (КМА) выполнена с учетом состояния намывного массива, максимальная мощность которого превышает 70 м. В качестве основной таксономической единицы принимались слои глинисто-мелового состава. В пределах массива выделяли четыре инженерно-геологических участка (см. табл. 1.9). Основными признаками выделения участков служили гранулометрический состав, показатели водно-физических свойств, степень уплотнения (P_n), параметры сопротивления сдвигу, характеристики сжимаемости (a и C_v).

Водно-физические свойства намывных суглинков (КМА) [6, 7]:

Плотность, г/см³ (т/м³):

- минеральных частиц 2,68

- сухого грунта 1,51

Пористость, % 43,74

Коэффициент пористости 0,784

Коэффициент водонасыщения 0,98

Коэффициент фильтрации, м/сут 0,0044

Гранулометрический состав намывных суглинков следующий:

| | | | | |
|--------------------|--------|--------------|---------------|---------|
| Размер фракции, мм | > 0,05 | 0,05 – 0,002 | 0,002 – 0,001 | < 0,001 |
| Содержание, % | 18,37 | 42,2 | 11,7 | 27,73 |

Таблица 1.9. Гранулометрический состав и водно-физические свойства инженерно-геологических участков гидроотвала «Березовый Лог»

| Номер участка | | I, а | I, б | II | III, а | III, б | IV |
|---|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------|-------------------------|
| Содержание фракций, % | Песок > 0.05 мм | 21,1 | 27,5 | 10,7 | 3,9 | 2,3 | 0,4 |
| | Пыль 0.05 – 0.005 мм | 31,6 | 28,97 | 44,3 | 46,4 | 47,1 | 47,4 |
| | Глина <0.005 мм | 48,3 | 43,53 | 45 | 49,7 | 50,6 | 52,2 |
| Плотность грунта γ , г/см ³ | | 1,91 | 1,97 | 1,90 | 1,86 | 1,80 | 1,79 |
| Плотность минеральных частиц Δ , г/см ³ | | 2,68 | 2,67 | 2,7 | 2,71 | 2,71 | 2,75 |
| Влажность, W, % | | 31 | 23,6 | 33 | 33,8 | 34,8 | 37 – 40 |
| Начальный коэффициент пористости, e_0 | | 0,83 | 0,68 | 0,89 | 1,1 – 1,15 | | 1,1 – 1,15 |
| Угол внутреннего трения, ϕ , градус. | | 16 | 18 | 14 – 16 | 12 | 10 | 8 – 10 |
| Сцепление C, МПа | | 0,04 | 0,04 | 0,025 – 0,03 | 0,02 | 0,015 | 0,015 – 0,01 |
| Степень уплотнения, U | | 1 | 1 | 0,8 - 1 | 0,7 | 0,5 | 0,25 – 0,5 |
| Коэффициент консолидации, $C_v(q)$, м ² /сут | | 0,09e ^{-0,11q} | 0,14e ^{-0,07q} | 0,11e ^{-0,09q} | 0,08e ^{-0,11q} | | 0,06e ^{-0,13q} |

Выводы

Выполненный обзор геологических условий месторождений КМА и Кузбасса свидетельствует о наличии во вскрышной толще этих бассейнов мощных слоев песчано-глинистых нецементированных отложений, что является предпосылкой широкого применения пенетрационных методов их изучения для оперативного определения механических свойств, необходимых при оценке устойчивости откосных сооружений и несущей способности их оснований.

Из приведенных в главе 1 данных о физико-механических свойствах глинистых отложений дельты реки Меконг следует, что эти показатели близки к аналогичным характеристикам намывных тонкодисперсных грунтов гидроотвалов КМА и Кузбасса. Применение пенетрационно-каротажных

методов целесообразно для грунтов с коэффициентом сжимаемости $a > 0,5 \text{ МПа}^{-1}$ и сопротивлением сдвигу $\tau \leq 2,5 \text{ кг/см}^2$ ($0,25 \text{ МПа}$). 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.

ГЛАВА 2. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ЗОНДИРОВАНИЯ

2.1. Предварительные сведения

Карьеры занимают ведущее место в добыче полезных ископаемых. 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 [1, 26-30].

Для этого производят лабораторные и натурные (полевые) исследования с целью определения физико-механических, прочностных и деформационных свойств техногенных отложений и оснований массивов. Наиболее точные данные получают при помощи полевых (натурных) методов. Для этой цели разработан широкий комплекс аппаратуры, который внедряют или закладывают в массив [31, 32].

Для несцементированных отложений применяются поворотные крыльчатки в сочетании с конусными зондами с целью определения сопротивления сдвигу и порового давления.

Метод вращательного среза широко использовался на отвалах рыхлых пород и гидроотвалах с помощью аппаратных решений, представленных на рис.2.1, 2.2, 2.3 [33, 34]. Устройства МГИ-МГГУ-ДИГЭС защищены Патентами РФ (№ 1649035 – 1993 г, № 2025559 – 1994) [35, 36].

Наиболее распространенный способ опробования техногенных отложений и слабых оснований (с коэффициентом сжимаемости пород $\alpha > 0,5 \text{ МПа}^{-1}$) – статическое зондирование, который 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.

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.

Наиболее целесообразным является использование зонда-многопараметрического, позволяющего одновременно определять избыточное поровое давление P_u , сопротивление задавливанию зонда (пенетрации) q_z и сопротивление вращательному срезу τ (рис. 2.3в). Последнее определяется методом вращательного среза [34].

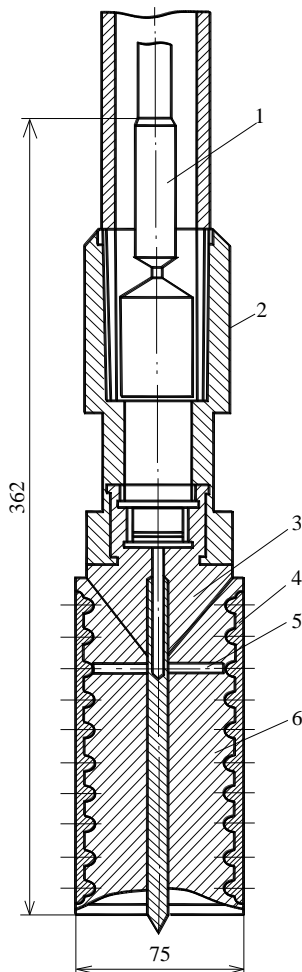


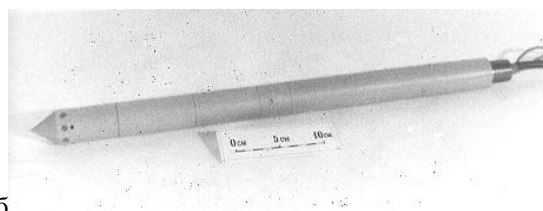
Рис.2.1. Конструкция устройства для комплексного зондирования слабых грунтов: 1- датчик порового давления; 2-переходник; 3-конус; 4-пористый камень; 5-гидравлический канал; 6-лопатка



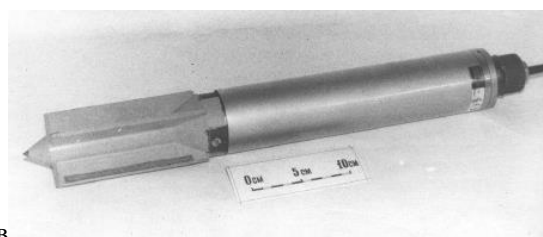
Рис. 2.2. Струнная аппаратура, используемая при проведении полевых работ: 1 – ПДС-3П (пьезодинамометр); 2 – комбинированный крыльчатый зонд; 3 – пенетрометр; 4 – периодометр цифровой; 5 – ПДМ-40 (пьезодинамометр для высоких давлений); 6 – ШПД (штанговый пьезодинамометр); 7 – ДТС (датчик температур); 8 – ГД (грунтовый динамометр); 9 – ПДС (плоский пьезодинамометр)



а



б



в

Рис. 2.3. Комбинированные зонды МГГУ-ДИГЭС:
а,б,в – соответственно 1,2 и 3-х параметрические

Для крыльчатого наконечника постоянная B определяется из выражения

$$B = \frac{\pi D^2}{2} \left(\frac{D}{3} + H \right), \quad (2.1)$$

где D , H - соответственно диаметр и высота крыльчатки.

Для комбинированного наконечника

$$B = \frac{\pi D^2}{2} \left[\frac{1}{6} \left(D - \frac{d_{\text{кон}}^3}{D^2} \right) + H_{\text{кр}} \right], \quad (2.2)$$

где $d_{\text{кон}}$, $H_{\text{кр}}$ - соответственно диаметр конуса и высота крыльчатки.

Сопротивление сдвигу (вращательному срезу)

$$\tau = M_{\text{кр}} / B. \quad (2.3)$$

Для глинистых отложений гидроотвалов Кузбасса ВНИМИ получена эмпирическая формула [15, 19]

$$\tau_k = 0,073 q_z - 0,002 q_z^2 \quad (2.4)$$

где τ_k – сопротивление вращательному срезу ($\text{МПа} \cdot 10^{-1}$); q_z – сопротивление пенетрации (вдавливанию конуса площадью 10 см^2 и углом при вершине 60°).

Потребность в оценке вещественного состава, прочности и деформируемости пород с нарушенной структурой (техногенных отложений) и пород в естественных условиях залегания возникает при изучении последствий различных видов техногенного воздействия на массивы. Метод пенетрационного каротажа возник в результате комплексирования инженерной геологии и каротажной геофизики [37-43].

Российская пенетрационно-каротажная станция, созданная ВСЕГИНГЕО и СКБ «Геотехника», совмещает механизм для задавливания зонда и измерительные устройства, включающие зонд, оборудование для приема и передачи информации о свойствах исследуемой среды и мобильной вычислительной системы (рис. 2.4).

В странах Европы и Северной Америки статическое зондирование выполняется с помощью оборудования фирм: Гоуда, Фугро (Норвегия), Боррос (Швеция), Геомил (Финляндия - Швеция), Ван-ден-Берг (Голландия – США),

Пагани (Италия) и др. [6, 39, 44, 45].



Рис. 2.4. Станция СПК – Т на полевых работах 2007 года(гидроотвал «Берёзовый Лог»)

На начальном этапе изучения техногенных массивов кафедрой геологии МГИ в 1962-1964 гг. проводились исследования порового давления в отвальных массивах и их основаниях на Щигровском фосфоритовом руднике (во внутреннем отвале размещались четвертичные суглинки и меловые породы), на внутреннем отвале Богдановского карьера Никополь-Марганцевого бассейна (Украина) и на внешнем конвейерном отвале Михайловского железорудного комбината (ныне Михайловский горно-обогатительный комбинат – МГОК) [16, 46, 47]. В отвалах Михайловского ЖРК и Богдановского карьера (БК) складировались глинистые породы различного возраста. В основаниях этих отвалов залегаали водонасыщенные гумусированные суглинки (МЖРК) и переслаивание сарматских глин и обводненных песков (БК).

В качестве основного измерительного устройства применялись штанговые пьезодинамометры конструкции Гидропроекта, предназначенные для установки на штангах в качестве зонда для статической пенетрации (рис. 2.5).

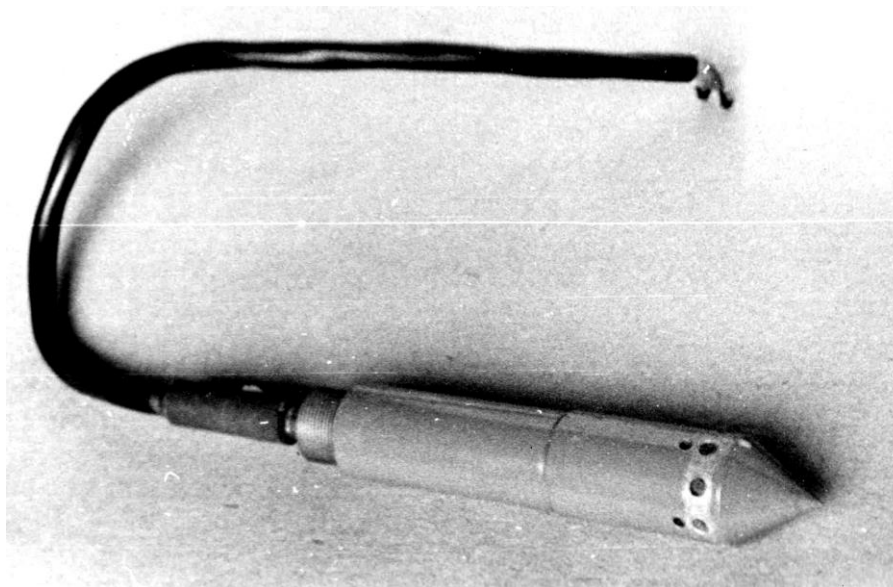


Рис. 2.5. Датчик-пьезодинамометр типа ШПДМ

До начала 70-х годов XX века на горнопромышленных объектах РФ выполнялись преимущественно замеры порового давления в водонасыщенных песчано-глинистых породах отвальных насыпей и их оснований, а также в теле и основании гидроотвалов карьеров КМА и Кузбасса. Приоритет в области натуральных замеров порового давления на объектах горного производства принадлежит кафедре геологии Московского горного института. В связи с крупной аварией хвостохранилища Сорского полиметаллического комбината (Красноярский край) в 1972 г. была проведена детальная проверка сооружений промышленной гидротехники на горнорудных предприятиях и в том числе на крупнейшем в СССР гидроотвале «Березовый Лог», где складировались отходы рудообогащения комбината «КМАРуда», золошлаки Губкинской ТЭЦ и гидровскрыша, представленная суглинками, глинами, песками, мелями.

Объемы укладки в гидроотвал гидровскрыши достигали 22 млн.м³ в год. Возведение этого гидротехнического сооружения было начато в 1964 г. Максимальная интенсивность намыва составляла до 8 м в год. Экспертной комиссией Минэнерго и Минчермета СССР было рекомендовано: обеспечить оперативный контроль устойчивости откосных ограждающих сооружений, оценить состояние внутренних зон намывного массива (их уплотненность и несущую способность), составить проект заполнения гидроотвала с учетом его

рекультивации.

Кафедрой геологии МГИ решались следующие задачи в ходе выполнения НИР после проведения комплексного обследования:

- рассмотрение задач фильтрационной консолидации применительно к намыву тонкодисперсных отложений;
- разработка способа форсирования консолидации намывных толщ путем создания в них системы гидравлически связанных дренажных элементов (призм, линз и подушек), формируемых посредством пионерно-торцевого безэстакадного намыва фильтрующих материалов – песков, отходов рудообогащения, золошлаков ТЭЦ;
- разработка и внедрение комбинированных зондов для инженерно-геологического опробования намывных отложений и слабых естественных оснований;
- создание стационарной системы контроля порового давления в теле и основании ограждающих песчаных упорных призм (ограждающих дамб), намытых из сеноман-альбских песков вскрышной толщи.

Все эти задачи были успешно решены. В частности, разработан и внедрен на гидроотвале «Березовый Лог» способ возведения намывного основания [48]. Для оценки эффективности системы дренажных элементов в толще глинисто-меловых намывных отложений в МГИ разработан комбинированный зонд, первоначально подобный изображенному на рис. 2.6 [49]. Этот зонд был испытан на гидроотвалах разрезов Кузбасса в 1972 - 1976 гг.

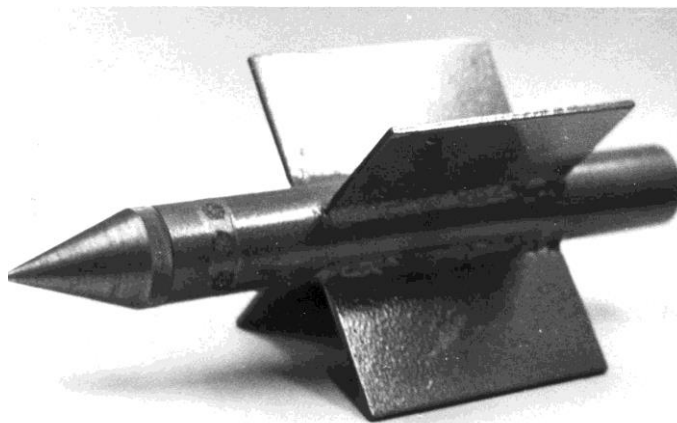


Рис. 2.6. Один из вариантов комбинированного зонда МГИ

В дальнейшем конструкция комбинированного наконечника была изменена за счет размещения водоприемных отверстий в лопастях крыльчатки. Конструкция этого зонда показана на рис 2.7 [36].

Зондирование устройством МГИ производилось в зимний период со льда до глубины 56 м. Были получены графики определения вида глинистого грунта по величине сопротивления пенетрации (q_3) и удельного трения по боковой поверхности зонда (f_3). На рис. 2.8 показано схема тензометрического зонда станции пенетрационного каротажа с датчиком нормального давления, на рис. 2.9 – диаграммы трения (T) и нормального давления σ_n , полученные в ходе зондирования.

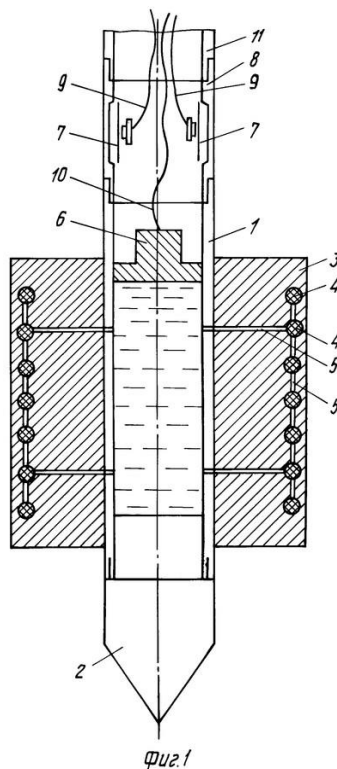


Рис 2.7. Комбинированный зонд с водоприемными отверстиями в лопастях крыльчатки

Отечественный (советский) и зарубежный опыт разработки методов и средств комбинированного зондирования наиболее полно отражен в монографиях [6, 7, 26, 39], а также в цикле статей в журнале «Инженерные изыскания» [42, 43, 50-52].

Наконечники зондов статического зондирования, применяемые в различных странах, приведены в работе Т.А. Грязнова [39] (рис. 2.10).

Им также обобщены и систематизированы конструкции зондов для динамического зондирования, оборудование и аппаратура к ним.

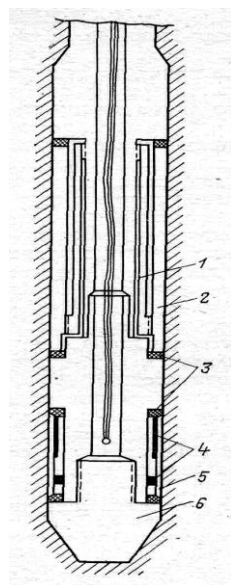


Рис. 2.8. Тензометрический зонд СПК с датчиком нормального давления.
1 – чувствительный элемент, фиксирующий трение; 2 – цилиндр трения; 3 – уплотнитель; 4 – тензодатчики; 5 – тонкостенный цилиндр датчика нормального давления; 6 – наконечник

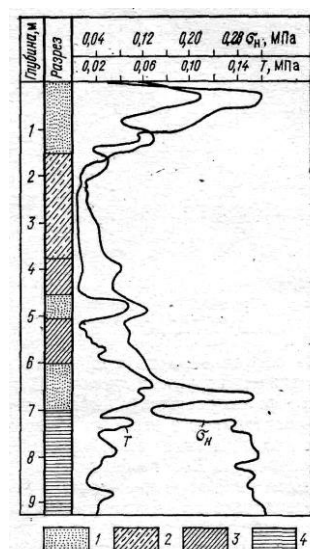


Рис. 2.9. Диаграмма трения T и нормального давления σ_n , полученные в процессе зондирования.
1 – песок; 2 – супесь; 3 – суглинок; 4 – глины юрские.

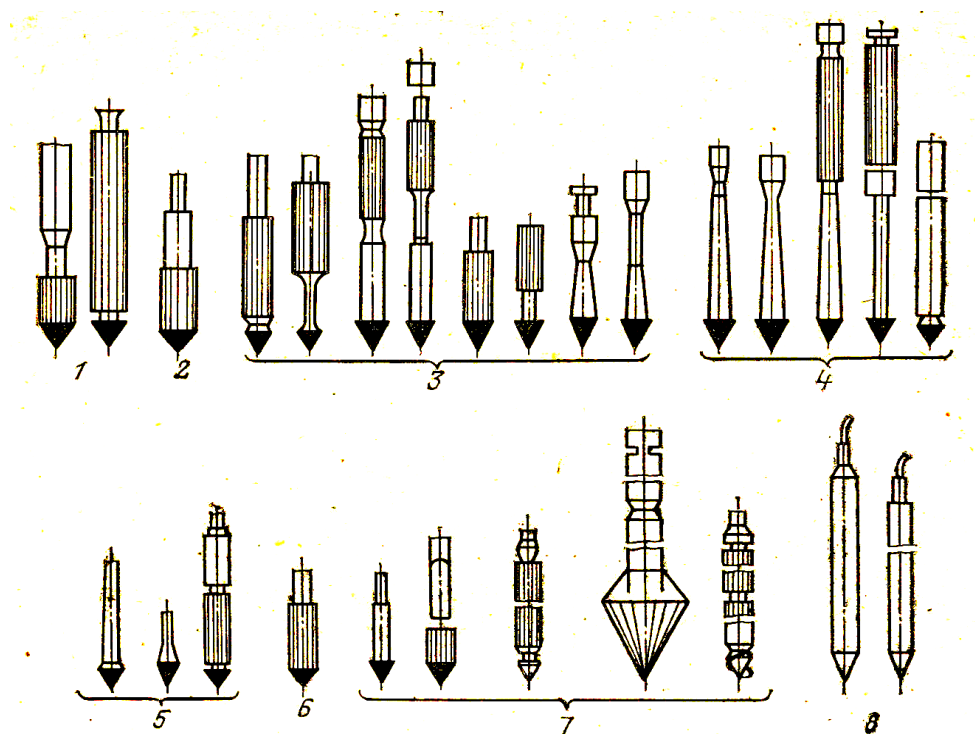


Рис. 2.10. Наконечники зондов статического зондирования, применяемые в:
1 – СССР-России; 2 – Польше; 3 – Бельгии; 4 – Нидерландах; 5 – Франции; 6 – ФРГ;
7 – Швеции; 8 – Австралии.

2.2. Устройства для вращательно-статического зондирования и обработка результатов

С целью механизации испытаний грунтов методом вращательно-статического зондирования в Энергосетьпроекте разработано навесное устройство ВСЗ-15 к самоходной буровой установке УГБ-50М [40] (рис. 2.11).

Вращатель служит для испытания грунта на срез и соединяется с вращателем буровой установки УГБ-50М при помощи шестигранного соединения и соединительного пальца. К нижнему торцу вращающейся гайки присоединяется рабочий инструмент, включающий колонну штанг с зондом и измерительный прибор. Гидроцилиндр устройства при помощи быстросъемных соединений подключается к гидросистеме буровой установки.

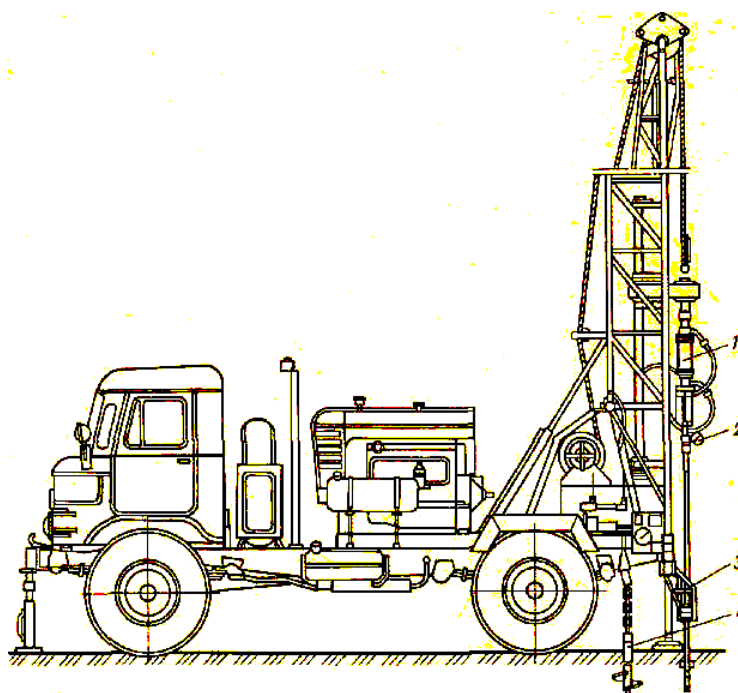


Рис. 2.11. Навесное устройство для вращательно-статического зондирования на базе буровой установки УГБ-50М: 1 – устройство вращательного среза; 2 – измерительная головка; 3 – центратор; 4 – устройство для заякоревания

Величина вращающего усилия при срезе грунта определяется по давлению масла в полости цилиндра, а угол поворота лопастного зонда изменяется при помощи угломерного приспособления, смонтированного на нижней крышке вращателя. При подаче масла в штоковую полость

гидроцилиндра поршень перемещается вверх, вращая гайку в противоположную сторону. При этом измеряется вращающее усилие при вращении лопастного зонда в нарушенном грунте. Для автоматической регистрации измеряемых параметров применяется гидравлический регистратор с записывающим прибором.

Инструмент для зондирования включает лопастный зонд, зондировочные штанги и переходник на вращатель устройства. Лопастный зонд выполнен в двух вариантах: электрическом и механическом. Электронзонд конструкции НИИОСПа (от комплекта ПИКА-9) снабжен тензодатчиками, кабелем, расположенным внутри колонны штанг, и измерительным прибором. Механический зонд (рис. 2.12) взаимодействует с измерительной головкой при помощи стержней, размещенных во внутренней полости колонны штанг. Вращение при срезе слабых грунтов передается лопастному зонду через внутренние стержни, что исключает влияние трения по боковой поверхности колонны штанг. При испытании более плотных грунтов вращение на зонд передается через колонну штанг, а трение по боковой поверхности измеряется при ее обратном вращении. Зонд в этом случае при помощи кулачковой муфты отключается от колонны штанг и остается неподвижным.

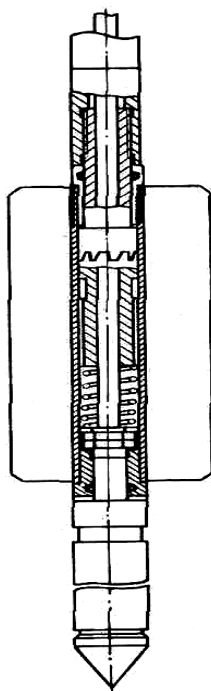


Рис. 2.12. Лопастный зонд для вращательно-статического зондирования установкой ВСЗ-15

При статическом зондировании осевое усилие от конуса зонда через колонну внутренних стержней передается на поршень гидроцилиндра измерительной головки, который создает давление внутри цилиндра, измеряемое манометром. Так как площадь поршня выбрана равной площади основания конуса зонда, манометр показывает непосредственно величину удельного сопротивления грунта внедрению конуса. Для предотвращения зашкаливания стрелки манометра при встрече зондом плотных слоев или твердых включений измерительная головка снабжена предохранительным приспособлением.

При испытании на срез крутящий момент от вращателя через колонну стержней, расположенных внутри штанг и соединенных шестигранными муфтами передается на лопастный зонд. При этом конический зонд для статического зондирования и колонна штанг не вращается, что исключает влияние трения по их боковой поверхности.

Навесное устройство снабжено специальным приспособлением для центрирования колонны штанг при внедрении зонда в грунт и захватом для удерживания зонда при его извлечении из грунта, а также счетчиком глубины зондирования. Для анкеровки буровой установки в грунте при зондировании применяют винтовые анкеры диаметром 230 и 300 мм, погружаемые с помощью вращателя установки.

Навесным устройством ВСЗ-15 помимо комплексных испытаний можно осуществить статическое зондирование стандартным зондом и вращательный срез стандартной крыльчаткой в буровой скважине.

Техническая характеристика устройства для вращательно-статического зондирования ВСЗ-15

| | |
|--|---|
| Тип устройства | Навесное на буровую установку с гидравлическим приводом УГБ-50М |
| Глубина испытаний, м | 15 |
| Усилие вдавливания зонда при зондировании, кН | 50 |
| Скорость погружения зонда, м/мин | 0.3-2 |
| Максимальный крутящий момент при вращательном срезе, Н·м | 500 |
| Скорость вращения зонда при вращательном срезе, рад/с: минимальная не более | 0.2-0.3 |
| максимальная не менее | 2-3 |
| Число полных оборотов зонда при вращательном срезе | 2 |
| Диаметр штанг, мм | 33.5 |
| Масса навесного устройства, кг | 150 |

Измеряемые параметры:

- при статическом зондировании - удельное сопротивление грунта конусу зонда q_z (МПа) и удельное сопротивление трению грунта по боковой поверхности зонда (муфты трения) f_z (КПа);

- при вращательном срезе - сдвигающее усилие τ (МПа), и угол поворота лопастного зонда α (градус).

Применяются лопастные зонды трех видов: для плотных грунтов $B = 790 \text{ см}^3$; для грунтов средней плотности $B = 1545 \text{ см}^3$; для слабых грунтов $B = 3660 \text{ см}^3$ (где B — постоянная крыльчатки, зависящая от параметров лопастей, см. п. 2.1).

По результатам испытаний строят графики статического зондирования и вращательного среза, которые совмещают с инженерно-геологическими колонками, по данным опорного бурения (рис 2.13) [40]. Результаты испытаний подвергаются дальнейшей обработке с целью составления и уточнения инженерно-геологического разреза, получения данных об изменчивости опробуемых грунтов и установления показателей свойств грунтов в зависимости от общей задачи исследований.

Свойства грунтов отдельных слоев оцениваются сопоставлением обобщенных показателей зондирования с результатами изучения этих же слоев грунтов другими полевыми методами и лабораторными исследованиями. Обобщенные показатели зондирования получают на основании статистической обработки частных значений, число которых должно быть не менее шести для каждого выделенного слоя.

Для расчленения грунтов на глины, суглинки, супеси и пески можно использовать взаимосвязь показателей статического зондирования: удельное сопротивление грунта конусу зонда и удельное сопротивление трению грунта по боковой поверхности зонда. В качестве примера можно привести график (рис. 2.14) [40], составленный по обобщенным и статистически обработанным материалам Энергосетьпроекта и других организаций. На графике в зависимости от удельного сопротивления грунта конусу зонда q_z и удельного

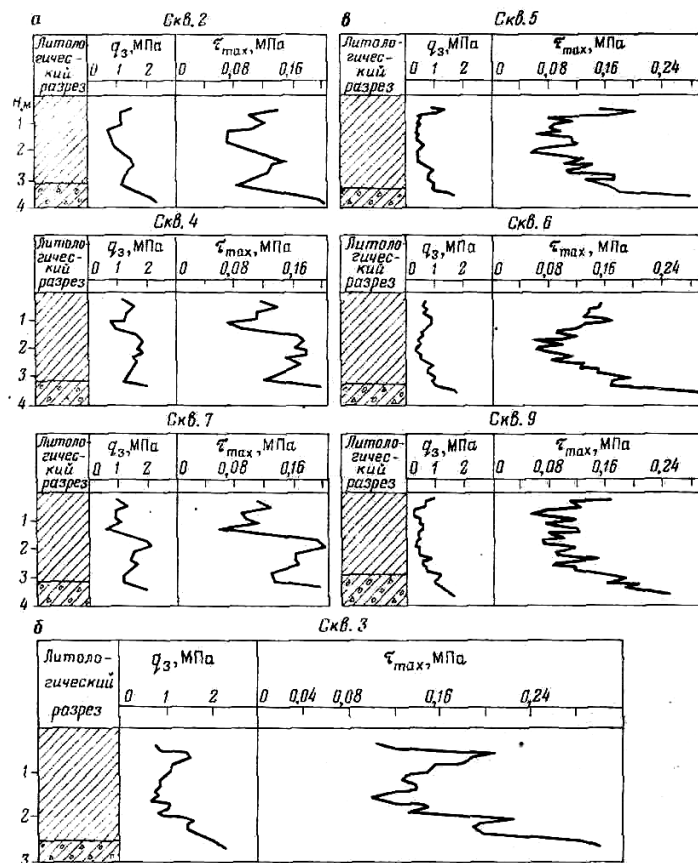


Рис. 2.13. Графики испытаний грунтов совмещенным методом статического зондирования и вращательного среза, совмещенные с литологическим разрезом

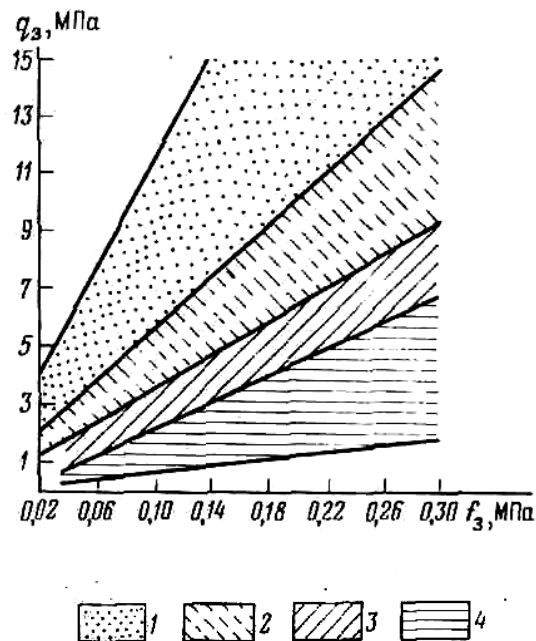


Рис. 2.14. График определения состава грунта по величине удельного сопротивления конусу зонда (q_3) и удельного трения (f_3) по боковой поверхности зонда: 1 - 4 – зоны (1 – песков, 2 – супесей, 3 – суглинков, 4 – глин)

сопротивления трению грунта по боковой поверхности зонда f_3 , выделяют зоны песков, супесей, суглинков и глин. Для определения типа грунтов необходимо в точках, соответствующих значениям q_3 и f_3 , восставить перпендикуляры, точка пересечения которых дает наименование грунта определенного слоя. Точность результатов использования такого графика не менее 85 %.

Для выбора типа фундаментов, а также для проектирования фундаментов сооружений III и IV класса оценку нормативных характеристик грунтов допускается производить по данным статического зондирования [53-54].

Ниже приведены табл. 2.1 – 2.4 для определения характеристик физико-механических свойств грунтов по показателю зондирования q_3 , МПа.

Таблица 2.1. Плотность сложения песков

| Пески | q_3 , МПа | Плотность сложения |
|---|-------------|--------------------|
| Крупные и средней крупности (независимо от влажности) | >15 | Плотные |
| | 15 – 5 | Средней плотности |
| | < 5 | Рыхлые |
| Мелкие (независимо от влажности) | >12 | Плотные |
| | 12 – 4 | Средней плотности |
| | < 4 | Рыхлые |
| Пылеватые маловлажные и влажные | > 10 | Плотные |
| | 10 – 3 | Средней плотности |
| | < 3 | Рыхлые |
| Пылеватые водонасыщенные | > 7 | Плотные |
| | 7 - 2 | Средней плотности |
| | < 2 | Рыхлые |

Таблица 2.2. Консистенция и показатель текучести глинистых грунтов

| Консистенция грунта | Показатель текучести В (консистенции) | Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q_3 , МПа |
|---------------------|---------------------------------------|--|
| Текучая | 1 | 0,2 |
| Текучепластичная | 0,75-1 | 0,2-0,5 |
| Мягкопластичная | 0,60-0,75 | 0,5-1 |
| | 0,50-0,6 | 1,0-1,4 |
| Тугопластичная | 0,40-0,5 | 1,4-2 |
| | 0,30-0,4 | 2,0-2,5 |
| | 0,25-0,3 | 2,5-3 |
| Полутвердая | 0,2-0,25 | 3-4 |
| | 0,1-0,2 | 4-6 |
| | 0,0-0,1 | 6-8 |
| Твердая | <0 | >8 |

Таблица 2.3. Угол внутреннего трения песчаных грунтов

| Пески | Глубина зондирования, м | φ, градусов при сопротивлении грунта под наконечником зонда q_3 , МПа | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|---|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Крупные | 2 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 |
| Средней крупности и мелкие | 5 и более | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 |

Таблица 2.4. Прочностные характеристики глинистых грунтов

| q _з , МПа | φ, градус | C, кПа | q _з , МПа | φ, градус | C, кПа |
|----------------------|-----------|--------|----------------------|-----------|--------|
| 0,5 | 16 | 18 | 3,5 | 23 | 53 |
| 1,0 | 17 | 24 | 4,0 | 24 | 58 |
| 1,5 | 18 | 30 | 4,5 | 25 | 64 |
| 2,0 | 19 | 36 | 5,0 | 26 | 70 |
| 2,5 | 20 | 41 | 5,5 | 27 | 76 |
| 3,0 | 22 | 47 | 6,0 | 28 | 82 |

Для сооружений I и II классов данные статического зондирования должны быть подкреплены лабораторными исследованиями грунтов по образцам, взятым из контрольных скважин.

В табл. 2.3 – 2.4 приведены показатели свойств кварцевых и кварцево-полевошпатовых песков с небольшой величиной сцепления (менее 0,01 МПа) и глинистых грунтов с содержанием органических веществ менее 10%.

В табл. 2.4 значения φ и C обобщены для четвертичных глин и суглинков различного происхождения.

Можно отметить, что диапазоны измерений и свойства исследуемых грунтов вполне соответствуют отложениям дельты р. Меконг.

2.3. Приемы интерпретации результатов пенетрационного каротажа

Многолетний опыт интерпретации результатов пенетрационного каротажа (ПК) позволил получить ряд зависимостей, связывающих показатели свойств пород с результатами ПК. Как известно, показатели свойств пород могут быть определены несколькими путями: 1) стандартными методами; 2) нестандартными методами, результаты которых путем нахождения зависимостей для определенных геологических условий связываются со стандартными; 3) расчетами; 4) комбинацией перечисленных способов.

Пенетрационный каротаж в большинстве случаев используется как комбинированный способ получения показателей свойств пород. Методы использования связи между показателями комплекса и стандартными методами для оценки показателей свойств пород применяются довольно часто. Такой подход к интерпретации результатов полевых методов широко

используется как в отечественной практике, так и за рубежом. Многолетний опыт применения комплекса пенетрационного каротажа позволил найти пути оценки показателей свойств пород, особенно механических, по отдельным показателям комплекса.

Для оценки модуля деформации грунтов используется уравнение вида

$$E = \alpha R, \quad (2.5)$$

где α - коэффициент, зависящий от вида пород; R - удельное сопротивление породы наконечнику зонда, МПа. Для наконечника СПК-Т значение α составляет: для песков - 3,0; супесей - 3,6; суглинков - 5,5; глин - 7,0.

Для оценки вида пород по данным СПК-Т могут быть использованы данные гамма каротажа, представленные в работе [39].

Что касается интерпретации результатов гамма-гамма каротажа (ГГК), нейтрон-нейтронного каротажа (ННК) и ГК, то после соответствующей градуировки они позволяют получать значения объемной массы γ_o , объемной влажности W_o , а по ГК оценивается и вид пород.

По полученным с помощью пенетрационного каротажа данным можно определить целый ряд расчетных показателей: пористость n , коэффициент пористости ε , коэффициент водонасыщения G и полную влагоемкость $W_{п.}$

Комбинированный способ предполагает совместное использование всех приемов интерпретации. Он основан прежде всего на том, что практически все свойства пород зависят от состава и состояния, т.е. вида породы, пористости и влажности. Вид породы может быть определен по показателям естественной гамма-активности I_γ и T/R (T – удельное трение породы по боковой поверхности зонда, МПа, R – удельное сопротивление породы наконечнику зонда, МПа), а пористость - расчетным путем, как указано выше. Влажность породы определяется непосредственно по данным нейтрон-нейтронного каротажа (ННК).

Имея в распоряжении указанные показатели и используя известные зависимости, можно оценить основные свойства пород. В первую очередь появляется возможность по этим данным и таблицам (СНиП II-3-79) оценить

механические характеристики пород E , σ , φ .

Кроме указанных выше показателей свойств пород по данным пенетрационного каротажа может быть произведена общая оценка водопроницаемости исследуемых пород.

Как известно, одной из характеристик водопроницаемости горных пород служит коэффициент фильтрации k_f . Он может быть оценен непосредственно опытным путем или по показателям, характеризующим состав и состояние породы, которые с помощью пенетрационного каротажа могут быть установлены с достаточной точностью. Ниже приведены общие соображения о путях решения этой задачи.

В целом методы оценки k_f по показателям состава и состояния делятся на несколько групп. К одной из них относится группа методов, базирующаяся на оценке k_f по виду породы. Эти данные приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Коэффициенты фильтрации некоторых видов пород

| Порода | k_f , м/сут | |
|--|-----------------|-------------------------------|
| | По В.Д.Ломтадзе | По Н.Н.Маслову, М.Ф.Котову |
| Гравий, галька с песчаным заполнителем | 100-300 | 50 и более |
| Песок: | | |
| крупный | 50-30 | 50 |
| средней крупности | 30-10 | 50 |
| мелкий | 10-2 | 5 |
| глинистый (тонкозернистый) | 2-0,1 | - |
| Супесь | 2-0,1 | 0,5 |
| Суглинок | 0,1-0,001 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| Глина | 0,001 | 10^{-5} |

Из табличных данных следует, что крайние значения k_f для отдельных видов пород, определенные различными авторами сопоставимы. В то же время, градация k_f в зависимости от пористости пород отсутствует, хотя во всех эмпирических формулах, используемых для определения k_f по гранулометрическому составу, значение пористости фигурирует. В связи с этим можно предположить, что пористость пород входит в табличные значения k_f в скрытой форме. Диапазон размаха значений k_f для каждой разновидности пород, очевидно, объясняется изменением значений пористости и генезиса пород.

Оценивая возможность ПК для определения k_f можно считать, что при условии четкого выделения по данным T/R и ГК видов пород имеется возможность приближенно, но зато с большой детальностью по разрезу оценить k_f (табл. 2.6).

Таблица 2.6. Зависимость значений k_f от T/R

| Порода | T/R | k_f , м/сут |
|----------|-------------|---------------|
| Пески | 0,0015 | 50-5 |
| Супеси | 0,016-0,022 | 2-0,1 |
| Суглинки | 0,025-0,04 | 0,1-0,001 |
| Глины | >0,05 | <0,001 |

2.4. Расчленение разреза по диаграммам пенетрационного каротажа и проверка при помощи статистических критериев

Интерпретация результатов пенетрационного каротажа включает в себя не только оценку количественных значений показателей свойств и нахождение связей между основными характеристиками пород, но и совместный анализ их с формой кривых в целях выделения видов пород и установления их границ.

Для ГК и ННК переход, как правило, расположен в точке диаграммы, находящейся на 1/3 разности величин записи в смежных слоях. При записи объемной массы пород положение кровли нижнего слоя, если его мощность не менее 40 см, находят по началу перегиба диаграммной кривой. Корректировка положения контактов выделенных слоев должна производиться, по всем диаграммам комплекса.

При решении вопроса о положении границ при разделе инженерно-геологического элемента кроме приемов, обусловленных спецификой пенетрационно-каротажных методов, следует учитывать также факторы, рекомендуемые ГОСТами [55-58].

Нормативные и расчетные значения показателей вычисляют после выделения инженерно-геологических элементов.

При закономерном изменении показателей грунта по площади (в плане) или глубине инженерно-геологического элемента дальнейшее расчленение его не проводят, если коэффициент вариации закономерно изменяющегося

показателя не превышает следующих величин: для коэффициентов пористости и влажности 0,15, для удельного лобового сопротивления и трения 0,30. Если коэффициенты вариации превышают эти величины, дальнейшее расчленение инженерно-геологического элемента проводят так, чтобы для вновь выделенных инженерно-геологических элементов эти коэффициенты не превышали указанных значений. Определение коэффициентов вариации производится в соответствии с ГОСТом [55].

Выводы

Применительно к геологическим условиям дельты р. Меконг и свойствам отложений использование вышеизложенных методов позволяет получать фактические данные о состоянии массива для решения широкого спектра инженерных задач.

С учетом ограниченного финансирования инженерно-геологических исследований целесообразно использовать устройство МГГУ-ДИГЭС, монтируемое на штангах буровых машин с помощью переходника. Также необходимо автоматизировать процесс сбора и передачи информации о сопротивлении вдавливанию зонда, поровом давлении и моменте вращения крыльчатки при срезе породы.

Из сравнительной оценки различных методов зондирования следует, что для решения задач геологического обеспечения открытых горных разработок, во вскрышной толще которых широко представлены глинистые породы, целесообразно применять комплексные методы, совмещающие пенетрацию конусными зондами и определение сопротивления исследуемых пород сдвигу (вращательному срезу крыльчатками с водоприемными отверстиями в лопастях).

Анализ рассмотренного опыта применения пенетрационно-каротажных методов исследований природных и техногенных массивов пород и отложений позволяет рекомендовать их к использованию на территории дельты реки Меконг с высокой степенью достоверности получаемых результатов.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ОПЫТА И РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

3.1. Натурные исследования техногенных массивов на горных предприятиях КМА

В 1962 году были начаты работы по инженерно-геологическому изучению техногенных массивов карьерных отвалов. Комплекс исследований базировался на классических положениях инженерной геологии, геомеханики и гидрогеомеханики [59-63]. С учетом немецкого опыта обеспечения и контроля устойчивости отвалов [63-66] в регионе КМА, где происходили неоднократные деформации отвальных массивов, сложенных и подстилаемых водонасыщенными песчано-глинистыми отложениями, с 1963 года были начаты замеры порового давления на отвале № 3-а Михайловского железорудного комбината (впоследствии Михайловский ГОК).

Начиная с 1969 г. на гидроотвале «Березовый Лог» (проектный объем 219,0 млн.м³) комбината КМАруда измеряется поровое давление с помощью пьезодинамометров конструкции Гидропроекта [6, 21, 29, 67, 68, 69]..

На рис. 3.1 и 3.2 представлены соответственно план гидроотвала «Березовый Лог», где показаны точки закладки стационарных датчиков, зоны зондирования и точки размещения пьезометров, а также профиль северной упорной призмы. При этом необходимо различать общее давление воды в порах P_{ω} и избыточное поровое давление

$$P_{\text{и}} = P_{\omega} - P_{\omega l}, \quad (3.1)$$

где $P_{\omega l}$ – гидростатическое давление, по отношению к которому производится отсчет.

Замеры для глинисто-меловых линз свидетельствуют о рассеивании избыточного порового давления и сохранении в точках измерений лишь гидростатического давления. В зоне замеров основание мощностью 8 м перекрыто намывным слоем меловых пород мощностью около 3 м, наличие которого замедляет уплотнение пород основания. Намыв гидроотвала (и соответственно нагружение основания) производился с 1964 г. Формирование слоя глинисто-меловых пород, где закладывались датчики, завершено в 1967 г [11, 70].

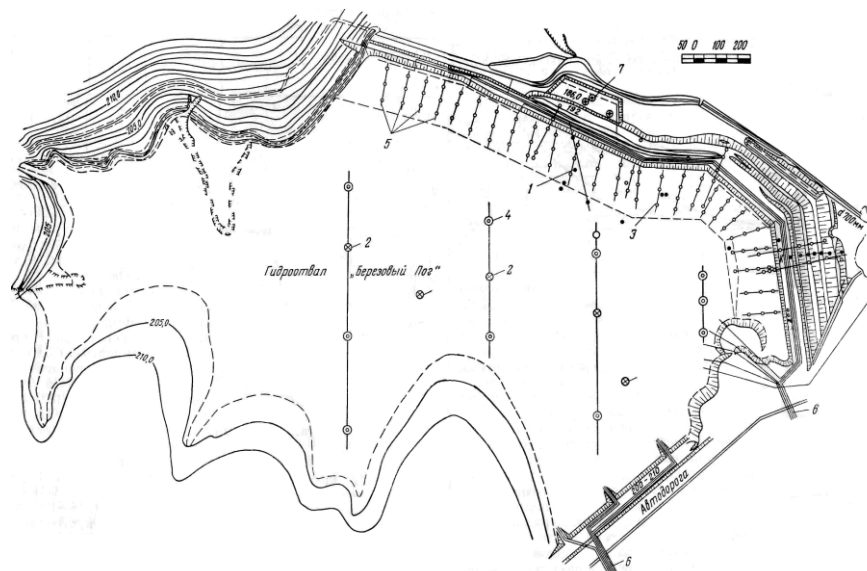


Рис. 3.1. План гидроотвала «Березовый Лог» комбината КМАРуда: 1 – точки закладки стационарных датчиков для замера порового давления; 2 – зоны зондирования; 3 – точки размещения пьезометров; 4 – инженерно-геологические скважины; 5 – геотехнические поперечники; 6 – пульповоды; 7 – скважины для комплексных исследований

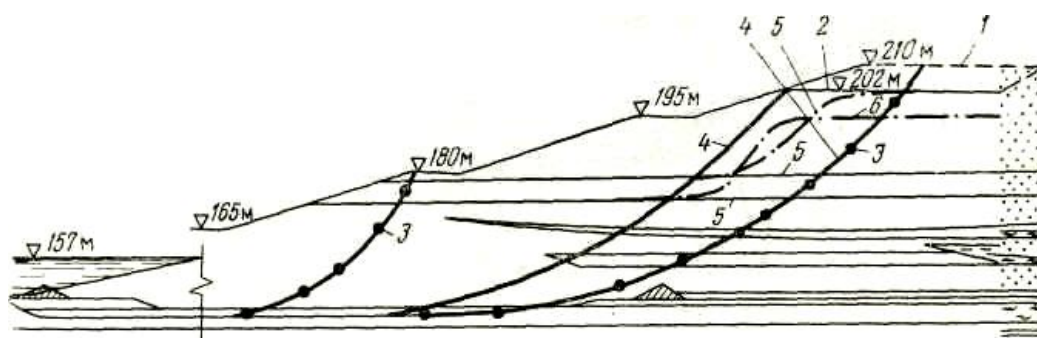


Рис. 3.2. Профиль северной упорной призмы гидроотвала «Березовый Лог» (схема контроля состояния породных масс): 1 и 2 — контуры откоса соответственно до и после его выполаживания; 3 — точки заложения пьезометров; 4 — точки размещения измерительных камер для определения модуля деформации пород; 5 — кривые скольжения; 6 - депрессионные кривые для двух положений контура откоса при неустановившейся и установившейся фильтрации

Наблюдение по заложенным датчикам и зондирование свидетельствуют о завершении фильтрационной консолидации глинисто-меловых пород в теле и суглинков в основании песчаной дамбы гидроотвала. Скорость рассеивания избыточного порового давления в этих слоях примерно соответствует скорости намыва ($v_n \leq 8$ м/год). Полученные с использованием метода вращательного среза характеристики сопротивления пород сдвигу близки к показателям, установленным при лабораторных сдвиговых испытаниях консолидированных образцов (исследования выполнялись на стабилометрах

М-2 и УСВ-2 в режиме консолидированно-недренированных испытаний).

Наиболее полно удалось изучить процесс уплотнения глинисто-меловых намывных пород и глинистых пород основания в зоне усиления низового откоса западной упорной призмы. Через три месяца после намыва песчаной подушки в зонах закладки стационарных датчиков (сентябрь 1973 г.) было проведено комплексное зондирование пригруженных слоев глинисто-меловых пород и глинистых пород основания. Сводные колонки зондирования представлены в табл. 3.1, где приводятся результаты замеров по стационарным датчикам, данные замеров порового давления при зондировании слоев штанговыми пьезодинамометрами и значения сопротивления пород сдвигу, полученные с помощью четырехлопастных крыльчаток.

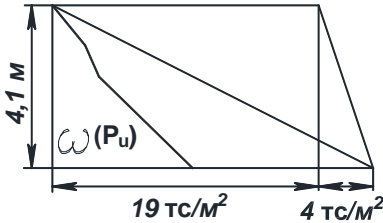
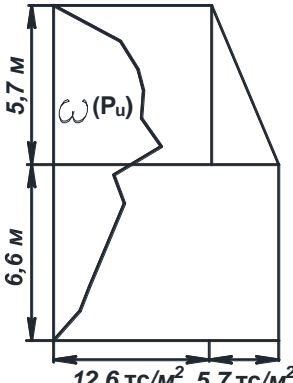
Натурные замеры порового давления позволили уточнить значения коэффициентов консолидации намывных глинисто-меловых пород и глинистых пород основания по методике, изложенной применительно к лабораторным исследованиям процессов уплотнения пород под действием постоянных нагрузок. Использование решения задачи уплотнения слоя при $q = \text{const}$ для интерпретации результатов натурных исследований на участке усиления низового откоса упорной призмы является вполне допустимым, так как намыв здесь осуществлен в очень короткий срок (несколько суток).

На колонках (табл. 3.1) показаны эпюры избыточного порового давления и общего давления для слоев, в которых производилось зондирование штанговыми пьезодинамометрами. Степень уплотнения слоев определяли как отношение площадей эпюр эффективных и тотальных напряжений

$$U = \frac{\omega(P_{эф})}{\omega(P_{ст})} = \frac{\omega(P_{ст}) - \omega[P_{II}(t)]}{\omega(P_{ст})} = 1 - \frac{\int_0^h P_{II}(z) dz}{\gamma' \int_0^h (h-z) dz} \quad (3.3)$$

По величине степени уплотнения U с помощью графика функции $F(m) = U$ определяли параметр m (рис. 3.8б) и затем вычисляли коэффициенты консолидации $C_v = 4md^2 / \pi^2 t$, где d — длина пути фильтрации в слое; t — продолжительность периода между моментами окончания намыва и замеров порового давления. С учетом величин уплотняющих нагрузок q

Таблица 3.1. Сводные колонки зондирования гидроотвала «Березовый Лог»

| № слоя | Породы | Мощность слоя, м | Глубина зондирования, м | Общее давление воды по стационарному датчику, кгс/см ² | Общее давление воды по данным зондирования, кгс/см ² | Высота столба воды в песке, Н _в , м | Избыточное поровое давление Р _п , кгс/см ² | Степень уплотнения U | Вращательный срез | | | Эпюра избыточного порового давления и тотальных напряжений |
|--------|--|------------------|-------------------------|---|---|--|--|----------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------------|--|
| | | | | | | | | | Глубина, м | κ, кгс/см ² | σ _п , кгс/см ² | |
| 1-а | Песок кварцевый мелкозернистый зеленоватый | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |  |
| 1-б | Песок кварцевый разнозернистый желтоватый | 14,10 | - | - | - | 9 | - | - | - | - | - | |
| | Намывная паста вязкая | | 15 | | 1,2 | | 0,2 | | 15 | 0,75 | 2,0 | |
| 2 | текучая в верхнем интервале бежевого цвета | 4,1 | 16 | 1,47 | 1,44 | | 0,34 | 0,8 | 16 | 0,77 | 2,1 | |
| | | | - | | - | | - | | 17 | 0,7 | 2,2 | |
| | | | 17,6 | | 2,0 | | 0,75 | | 18 | 0,6 | 2,3 | |
| 3 | Тугопрессованный чернозем | 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 4 | Супесь тяжелая охристого цвета 0,5 м суглинок 1,5 супесь тяжелая | 3,10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 5 | Мел крошковатый | 1,9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 6 | Мел разборный белый песчаный | 8,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 1 | Песок мелкозернистый кварцевый серый с включением меловых галек | 6,8 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - |  |
| 2 | Намывная паста дымчатого цвета, вязкая, текучая | 5,7 | 8 | | 0,57 | | 0,33 | | 9 | 0,83 | 1,5 | |
| | | | 9 | | 0,89 | | 0,57 | | | - | - | |
| 3 | Чернозем | 0,3 | 10 | | 1,2 | | 0,78 | | 11 | 0,52 | 1,7 | |
| 4 | Суглинок коричневый тугопластичный плотный | 6,3 | 11 | 1,45 | 1,28 | | 0,76 | 0,62 | 12 | 0,57 | 1,8 | |
| | | | 12 | | 1,52 | 6,7 | 0,9 | | 13 | 0,61 | 1,9 | |
| 5 | Суглинок свето-коричневый тугопластичный | 6,3 | 13 | | 1,2 | | 0,5 | | | | | |
| | | | 14 | | 1,42 | | 0,62 | 0,78 | 15 | 0,73 | 2,1 | |
| 6 | Супесь легкая | 6,3 | 16 | | 1,1 | | 0,4 | | 16 | 0,8 | 2,2 | |
| | | | 18 | | 0,9 | | 0,25 | | - | - | - | |
| 7 | Мел крошковатый ожелезненный | 6,9 | - | - | - | | - | | | | | |
| 8 | Мел разборный белый песчаный | | - | - | - | | - | | | | | |

Продолжение таблицы 3.1.

| № слоя | Породы | Мощность слоя, м | Глубина зондирования, м | Общее давление воды по стационарному датчику, кгс/см ² ккг | Общее давление воды по данным зондирования, кгс/см ² | Высота столба воды в песке, Н _в , м | Избыточное поровое давление Р _п , кгс/см ² | Степень уплотнения U | Вращательный срез | | | Эпюра избыточного порового давления и тотальных напряжений |
|--------|------------------------------------|------------------|-------------------------|---|---|--|--|----------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------------|--|
| | | | | | | | | | Глубина, м | κ, кгс/см ² | σ _п , кгс/см ² | |
| 1 | Песок кварцевый разномзернистый | 14 | | | | 9 | | | 14 | 0,99 | 1,9 | |
| 2 | Тугопрессованный чернозем | 1,2 | 14 | | 1,56 | | 0,62 | | 15,5 | 0,76 | 2,05 | |
| | | | 15 | | 1,34 | | 0,37 | | 16,5 | 1,21 | 2,15 | |
| | | 2,0 | 17 | | 1,19 | | 0,19 | | 17,5 | 1,47 | 2,25 | |
| | | | 18 | | 1,98 | | 0,93 | | 19 | 1,56 | 2,4 | |
| | Супесь тяжелая | 8,8 | 22 | 1,90 | 1,85 | | 0,59 | 0,75 | - | - | - | |
| | | | 24,5 | | 1,92 | | 0,64 | | - | - | - | |
| | | | 27 | | 1,6 | | 0,23 | | - | - | - | |
| | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | Суглинок коричневый тугопластичный | 2 | | | | | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | | |
| | Супесь коричневая | | | | | | | | | | | |
| | Мел крошковатый ожелезненный | | | | | | | | | | | |

Таблица 3.2. Значения порового давления во времени

| Номер скважины | Мощность слоя h _н и длина пути фильтрации | Породы | Относительная координата из измерительной точки k = z/d | Нагрузка q, кгс/см ² | Значения Р _п для различных моментов после окончания намыва, кгс/см ² | | | | | | | Примечание |
|----------------|--|----------------------------------|---|---------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| | | | | | $\frac{14 \text{ сут}}{14.05.1973}$ | $\frac{142 \text{ сут}}{25.09.1973}$ | $\frac{208 \text{ сут}}{30.11.1973}$ | $\frac{436 \text{ сут}}{11.04.1973}$ | $\frac{515 \text{ сут}}{4.11.1974}$ | $\frac{545 \text{ сут}}{4.12.1974}$ | $\frac{655 \text{ сут}}{21.03.1975}$ | |
| 11 | h = d = 4,1 м | Глинисто-меловые пасты | 0,5 | 2,1 | $\frac{1,4}{1,66}$ | $\frac{0,37}{0,43}$ | $\frac{0,08}{0,21}$ | $\frac{0,04}{0}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{0}{0}$ | в зоне скв. 18 с 1 до 4 декабря 1974г. Дополнительно намыт слой песка мощностью 4 м |
| 12 | h = d = 5,7 м | То же | 0,5 | 1,5 | $\frac{1,25}{1,27}$ | $\frac{1,03}{0,6}$ | $\frac{0,45}{0,34}$ | $\frac{0,16}{0,12}$ | $\frac{0}{0,07}$ | $\frac{0}{0,06}$ | $\frac{0}{0}$ | |
| 18 | h = 2d = 14 м | Суглинки естественного залегания | 0,86 | 1,9 | $\frac{1,5}{1,63}$ | $\frac{0,69}{0,65}$ | $\frac{0,25}{0,33}$ | $\frac{0,05}{0,08}$ | $\frac{0}{0,04}$ | $\frac{0,5}{0,6}$ | $\frac{0,2}{0,27}$ | |

(кг/см²) получены следующие уточненные зависимости для намывных глинисто-меловых пород (линзы в упорной призме):

$$C_v = 0,09e^{-0,11q} \quad (3.4)$$

для глинистых пород основания (интегральный показатель слоистой толщи)

$$C_v = 0,2e^{-0,072q} \quad (3.5)$$

Расхождение полученных по натурным ($C_v^0 = 0,2 \text{ м}^2 / \text{сут}$) и лабораторным ($C_v^0 = 0,09 \text{ м}^2 / \text{сут}$) данным значений начального (при $q = 0$) коэффициента консолидации объясняется тем, что для натуральных условий определена интегральная характеристика слоистой толщи, представленной черноземом, гумусированными суглинками, супесями. Лабораторные испытания проводились на образцах лишь одной литологической разности — гумусированных суглинков.

Установленные с помощью зондирования характеристики уплотняемости во времени использованы для расчетов значений избыточного порового давления в точках закладки стационарных пьезодинамометров. Измеренные и расчетные значения $P_{\text{и}}$ сопоставляются в табл. 3.2. Расчеты $P_{\text{и}}$ производили по графику $P_{\text{и}}(t)/q = F(m)$ (рис. 3.8а). Значения $C_v(q)$ определяли по приведенным выше зависимостям.

Полученная с помощью зондирования зависимость $C_v(q)$ для глинистых пород основания использована также при расчетах уплотнения основания песчаной упорной призмы на начальный период формирования гидроотвала «Березовый Лог», где в 1964-1965 гг. НИИКМА производились инструментальные замеры осадок по специальным глубинным маркам. Основание уплотнялось под действием внешней нагрузки q от намывного песка, возраставшей в период наблюдений (до 17 мес) от 0 до 3 кгс/см² (0,3 МПа). На рис. 3.3 показаны измерительные точки в профиле и графики развития осадок во времени для трех наиболее долговечных реперов. Внешняя нагрузка на момент окончания замеров определялась с учетом положения депрессионной кривой. Сопоставление натуральных и расчетных осадок приведено в табл. 3.3. Осадки рассчитывали для случаев уплотнения под действием постепенно возрастающей нагрузки (см. рис. 3.7б) слоев с двусторонним дренажем для

точек 5р, 6р (вверху - песок, внизу - трещиноватый мел, т. е. $h=2d$) и односторонним дренажем для точки 7р (основание перекрыто намывными глинисто-меловыми породами, т. е. $h=d$).

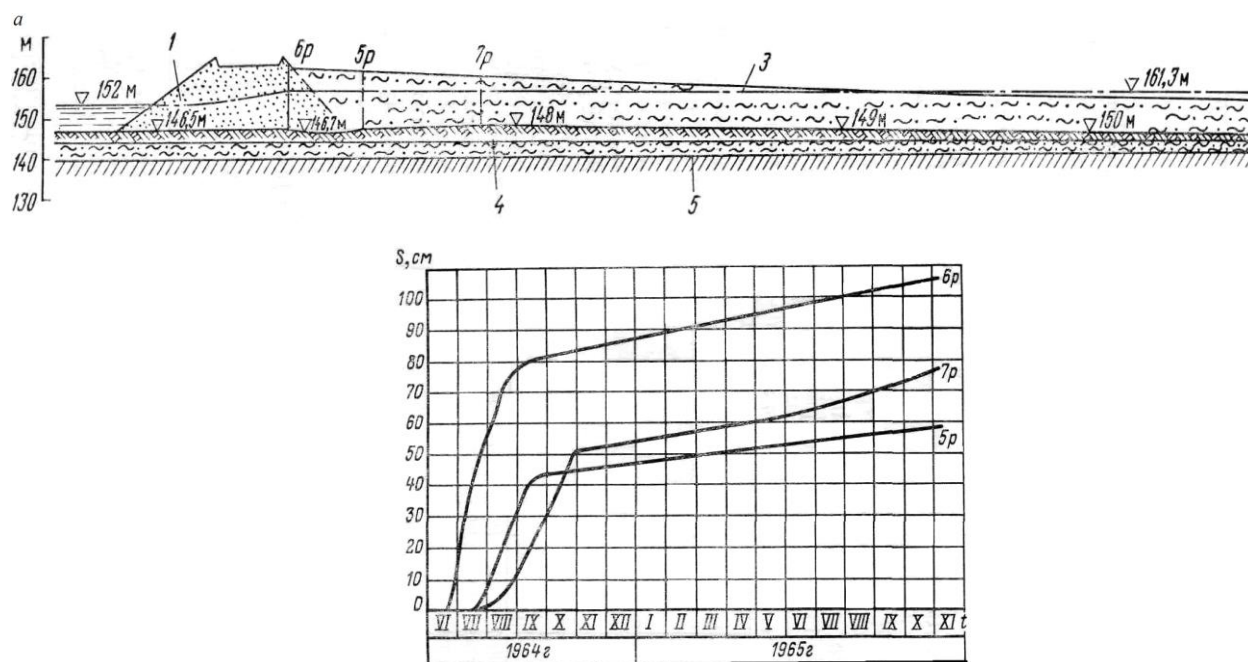


Рис. 3.3. Профиль участка замеров осадок северной упорной призмы гидроотвала «Березовый Лог» (а) и зависимость осадок от времени для реперов 5р, 6р, 7р (б) по данным НИИКМА: 1 – песчаная упорная призма; 2 – глинисто-меловые намывные породы; 3 – депрессионная кривая; 4 – суглинки основания; 5 – коренной мел; 5р, 6р, 7р - реперы

Таблица 3.3. Натурные и расчетные осадки во времени для трех наиболее долговечных реперов

| Номер репера | Мощность основания $h, \text{ м}$ | Условия дренирования | Продолжительность периода нагружения $t_n, \text{ сут}$ | Конечная нагрузка q , кгс/см^2 | Параметр, m | Измеренная осадка $S_n, \text{ м}$ | Расчетная осадка | |
|--------------|--------------------------------------|-------------------------|---|--|---------------|---------------------------------------|--|---|
| | | | | | | | Стабилизированная $S_{\infty}, \text{ м}$ | На момент окончания замеров, $S(t_n), \text{ м}$ |
| 5р | 5,4 | $h = 2d$ | 512 | 2,1 | 29,8 | 0,59 | 0,6 | 0,6 |
| 6р | 7,6 | $h = 2d$ | 512 | 3,05 | 14,05 | 1,05 | 1,0 | 0,95 |
| 7р | 8,4 | $h = d$ | 479 | 2,15 | 2,87 | 0,78 | 0,96 | 0,71 |

Из топогеодезических измерений следует, что еще на начальном этапе сооружения объекта (1964 – 1965 г.) для восьми реперов средняя степень уплотнения основания из пород с высоким коэффициентом сжимаемости $a \approx 0,05 \text{ см}^2 / \text{кг}$ достигала 0,7.

Первый этап зондирования тонкодисперсных намывных масс ядерной зоны со льда осуществлен в 1974 г. Зондирование выполнялось на участках с различными условиями дренирования намывной толщи. В табл. 3.4 приведены колонки зондирования слоев, располагающихся непосредственно на коренных мелах (дренаж) или на глинистых толщах четвертичных отложений (водоупор). По установленной натурными измерениями порового давления степени уплотнения глинисто-меловых намывных слоев с двусторонним дренажем путем обратных расчетов определен вид зависимости $C_v(q)$ для северо-западного участка ядерной зоны. Значения C_v определялись в виде $C_v = hv_n / \mu$, где μ — параметр, полученный по графику функции $U \approx f(\mu)$ (рис. 3.5, б) по известному значению степени уплотнения U . В результате обработки данных зондирования получено соотношение $C_v = 0,08e^{-0,11q}$, которое проверено при расчетах степени уплотнения слоев, располагающихся на водоупоре. Так, например, для расположенного на водоупоре слоя мощностью 15 м (табл. 3.4) значения установленной расчетным путем и с помощью зондирования степени уплотнения соответственно составили 0,6 и 0,55. Расчет степени уплотнения указанного слоя производился с использованием решений следующих задач:

- уплотнение слоя под действием собственного веса в период намыва и после завершения формирования этого слоя (график функции $U(\mu, t)$ на рис. 3.6а);
- уплотнение слоя под действием постепенно возрастающей нагрузки от вышележащей толщи намывных пород (график $F(t)$ на рис. 3.7б).

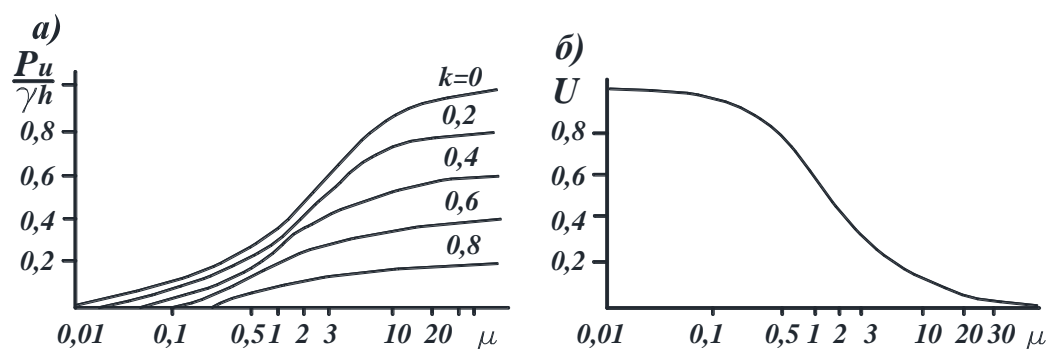


Рис. 3.4. Зависимости $P_u/\gamma h$ от μ при различных значениях K (а) и U от μ (б) для слоя на водоупоре (Уплотнение слоя переменной возрастающей во времени мощности)

Таблица 3.4. Колонки зондирования внутренних зон гидроотвала «Березовый Лог» со льда

| № слоя | Породы | Мощность слоя, м | Глубина зондирования, м | Общее давление воды по данным зондирования, кгс/см ² | Высота столба воды в точках зондирования, м | Избыточное поровое давления Р _в , кгс/см ² | Степень уплотнения, U | Вращательный срез | | | Эпюр избыточного порового давления и тотальных напряжений |
|--------|--|------------------|-------------------------|---|---|--|-----------------------|-------------------|------------------------|------------------------|---|
| | | | | | | | | Глубина, м | τ, кгс/см ² | σ, кгс/см ² | |
| | Лед | 1,1 | 5,0 | 0,28 | 3,9 | | | | 0,15 | 0,5 | |
| | Переслаивание песка и глинистомеловых паст | 9,9 | 7,0 | 0,5 | 5,9 | | | 5,0 | 0,22 | 0,7 | |
| | | | 9,0 | 0,72 | 7,9 | | | | 0,26 | 0,9 | |
| | Меловая и суглинисто-меловая паста, серовато-белая, реже коричневатая тощая с прослоями песка и суглинка, участками с включениями крошки гравия и гальки | 15 | 11,0 | 1,0 | 9,9 | 0 | | | 0,52 | 1,1 | |
| | | | 13,0 | 1,72 | 11,9 | 0,63 | | | 0,41 | 1,3 | |
| | | | 15,0 | 1,84 | 13,9 | 0,69 | | | 0,63 | 1,5 | |
| | | | 17,0 | 2,4 | 15,9 | 0,81 | | | 0,66 | 1,7 | |
| | | | 19,0 | 2,78 | 17,9 | 0,89 | 0,55 | | 1,16 | 1,9 | |
| | Почвенно-растительный слой, суглинок от легкого до тяжелого, глина легкая черная от твердой до мягкопластичной, гумированная | | 21,0 | 2,97 | 19,9 | 0,98 | | | 1,16 | 2,1 | |
| | | | 22,0 | 3,11 | 20,9 | 1,02 | | | 1,21 | 2,2 | |
| | | | 24,0 | 3,36 | 22,9 | 1,07 | | | 1,22 | 2,3 | |
| | | | 26,0 | 3,59 | 24,9 | 1,1 | | | 1,26 | 2,4 | |
| | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | Лед | 3 | 0,3 | 3 | 0,0 | | | 3 | 0,0 | 0,3 | |
| | | 5 | 0,58 | 5 | 0,08 | | | 5 | 0,0 | 0,5 | |
| | | 7 | 0,86 | 7 | 0,16 | | | 7 | 0,0 | 0,7 | |
| | | 9 | 1,2 | 9 | 0,3 | | | 9 | 0,0 | 0,9 | |
| | Меловая и глинисто-меловая паста серовато- и желтовато-белая, текуче-пластичная и | 11 | 1,48 | 11 | 0,38 | | | 11 | 0,04 | 1,1 | |
| | мягкопластичная, тощая, местами с прослоями песка и суглинка, | 13 | 1,9 | 13 | 0,6 | | | 13 | 0,04 | 1,3 | |
| | участками с включениями крошки гравия и гальки | 15 | 2,13 | 15 | 0,63 | | | 15 | 0,14 | 1,5 | |
| | | 17 | 2,44 | 17 | 0,74 | | | 17 | 0,21 | 1,7 | |
| | | 19 | 2,74 | 19 | 0,84 | | | 19 | 0,19 | 1,9 | |
| | | 21 | 3,2 | 21 | 1,1 | | | 21 | 0,24 | 2,1 | |
| | | 23 | 3,3 | 23 | 1,0 | | | 23 | 0,29 | 2,3 | |
| | Мел крошковатый ожелезненный | 25 | 3,58 | 25 | 1,08 | | | 25 | 0,48 | 2,5 | |
| | | 27 | 3,58 | 27 | 1,88 | | | 27 | 0,5 | 2,7 | |
| | | 29 | 3,66 | 29 | 0,76 | | | 29 | 1,38 | 2,9 | |
| | | 30,5 | 2,52 | 30,5 | 0,0 | | | 31 | 1,86 | 3,05 | |

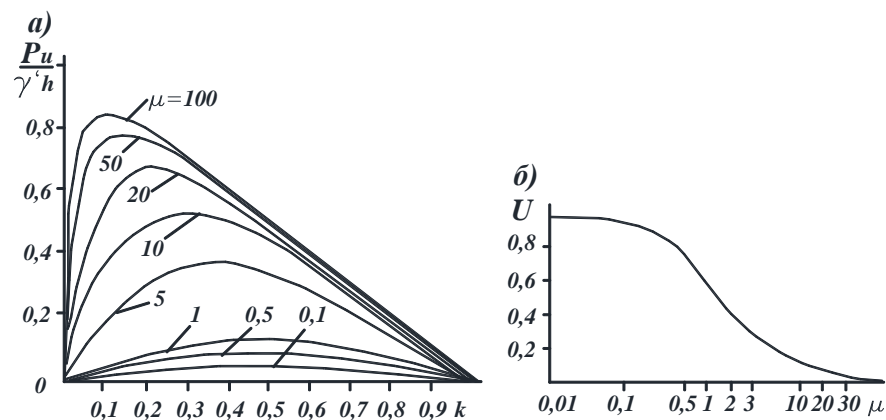


Рис. 3.5. Зависимости $P_u/\gamma'h$ от K при различных значениях μ (а) и U от μ (б) для слоя на дренаже (уплотнение слоя переменной мощности)

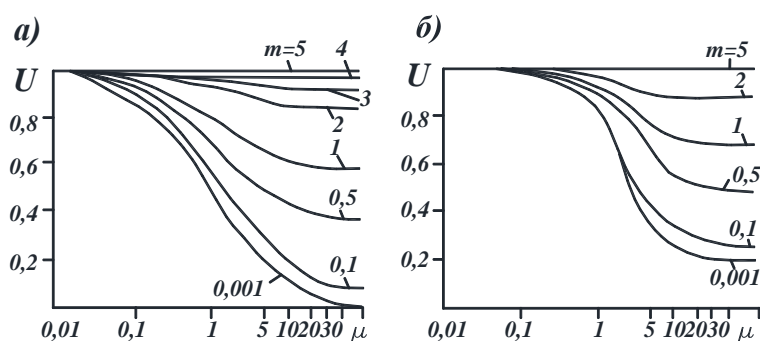


Рис. 3.6. Зависимости U от μ при различных значениях m при размещении слоя на водоупоре (а) и на дренаже («Отдых» намывного слоя)

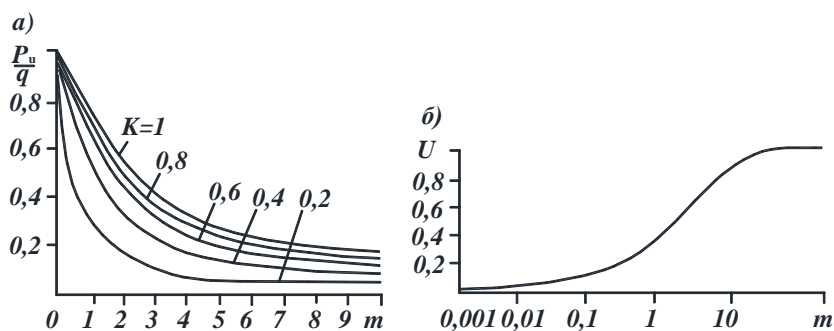


Рис. 3.7. Зависимости P_u/q от m при различных значениях K_1 (а) и U от m (б) ($q = v_{нт}$) (уплотнение слоя под действием постепенно возрастающей нагрузки)

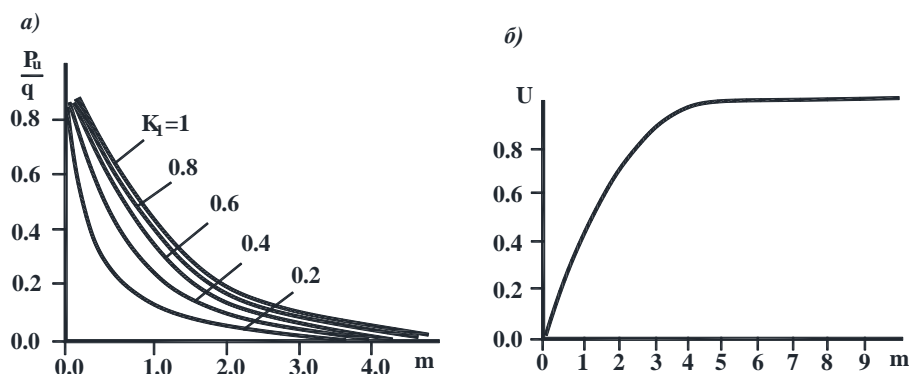


Рис. 3.8. Зависимости P_u/q от m при различных значениях K_1 (а) и U от m (б) ($q = \text{const}$) (уплотнение слоя под действием постоянной нагрузки)

Замеры порового давления на отвале №3 МЖК Михайловского ГОКа производились в водонасыщенных и гумусированных суглинках основания и в глинистых породах тела насыпи (нижний ярус высотой 11 м). Мощность сильносжимаемых пород основания в зоне натурных замеров составляла около 4 м (рис. 3.9).

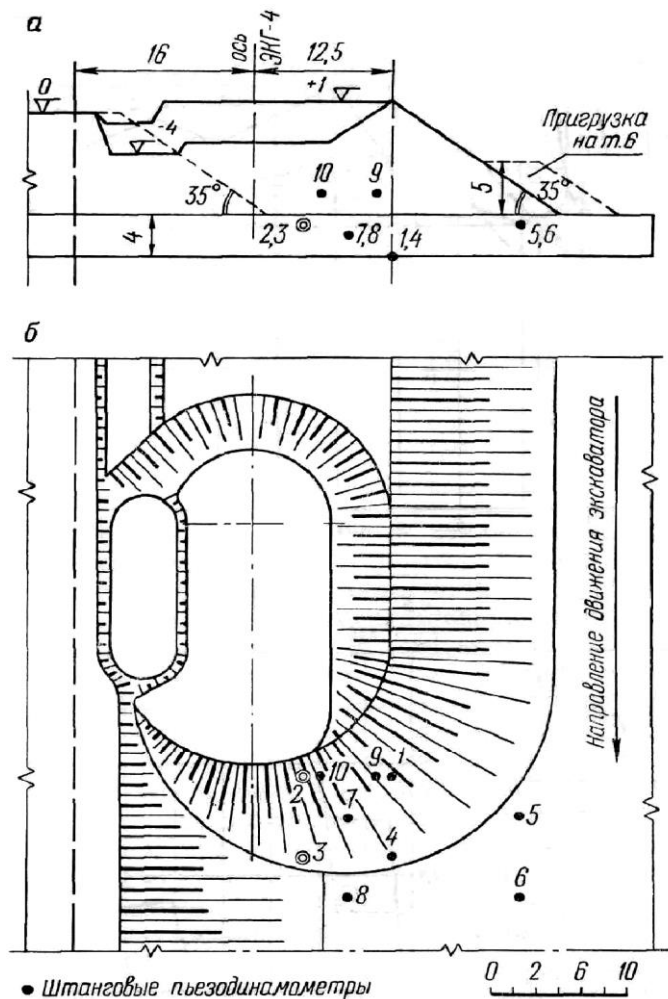


Рис. 3.9. Схема размещения датчиков в основании и теле железнорожного отвала Михайловского железорудного карьера: а – профиль; б – план

Для определения порового давления использовали стандартные пьезодинамометры и штанговые пьезодинамометры Гидропроекта.

На отвале в связи с выдавливанием основания неоднократно возникали оползни, препятствующие отвалообразованию. Зафиксировано быстрое снижение порового давления в основании при его нагружении фильтрующим материалом (песком). При размещении глины в нижней части отвала на

поровую воду передавалась вся нагрузка и снижение порового давления не отмечалось. В глинистых породах нижнего яруса отвала также развивалось поровое давление (рис. 3.10). Вследствие выпирания основания при малой сопротивляемости пород сдвигу возникали оползни подподошвенного типа.

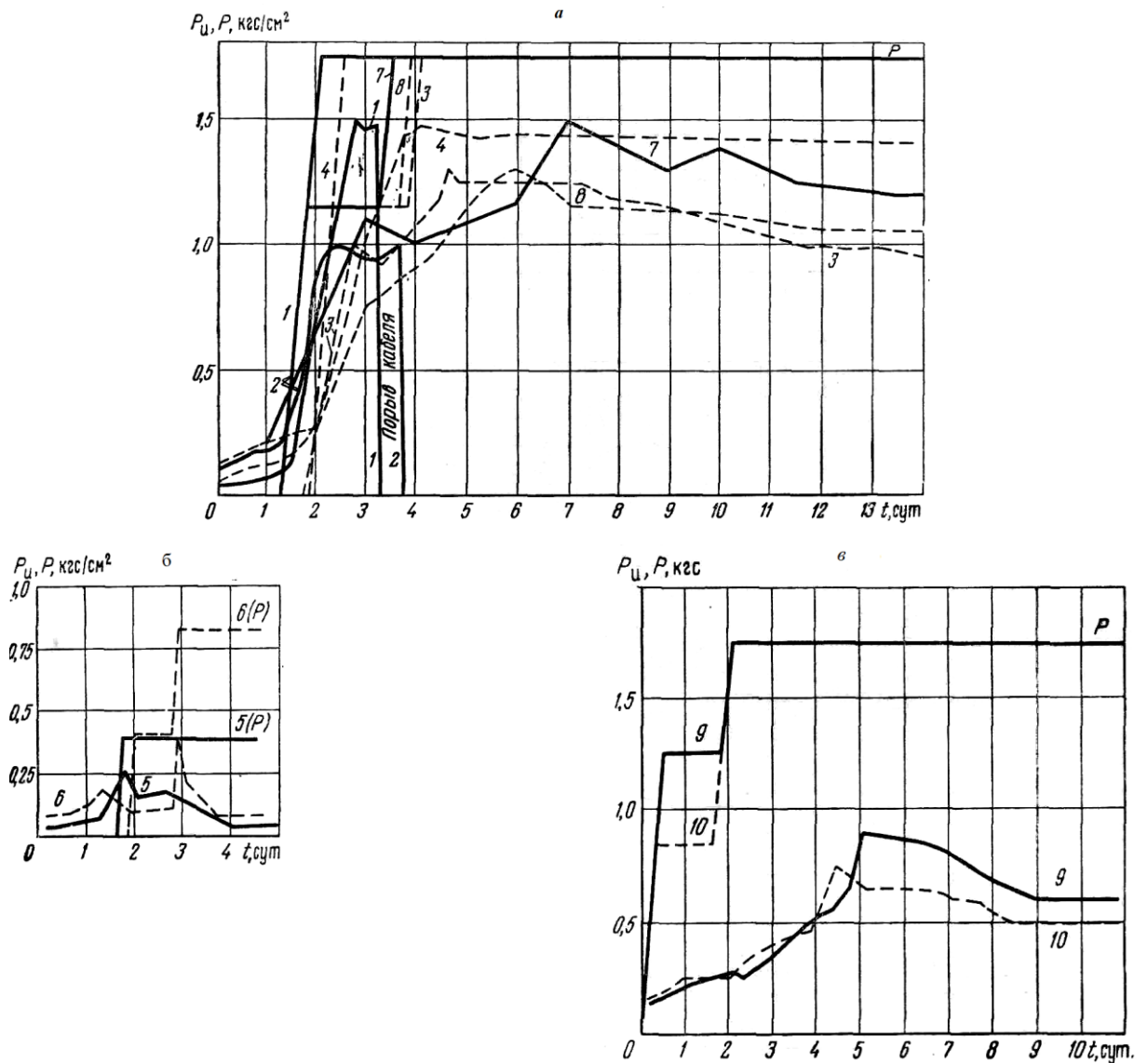


Рис. 3.10. Диаграммы порового давления P_u и внешней нагрузки P для измерительных точек: а – 1, 2, 3, 4, 7, 8 (основания); б – 5, 6 (основание в зоне песчаной пригрузки); в – 9, 10 (тело насыпи)

Для точки 6, пригруженной песчаной насыпью, P_u определяли с учетом его рассеивания. Исходные данные для расчета P_u в точке 6 с использованием одномерной задачи: $d = m_1 = 4$ м; $q = 0,8$ кгс/см^2 ; $k = 0,25$; $C_v = 4,33 \cdot 10^2$ $\text{см}^2/\text{с}$ (получено по данным лабораторных испытаний); $t=5$ сут.

Схема к расчету $P_u^{\text{пл}}$ в основании для условий плоской задачи дана на

рис. 3.11. В точках, нагруженных глинистой насыпью, расчеты $P_{и}$ выполняли для $C_v t = 0$, а в точке б принимали $C_v t = 2$. Расчетные ($P_{и}^{одн}$ и $P_{и}^{пл}$) и натурные ($P_{и}^{нат}$) значения избыточного порового давления приведены в табл. 3.5.

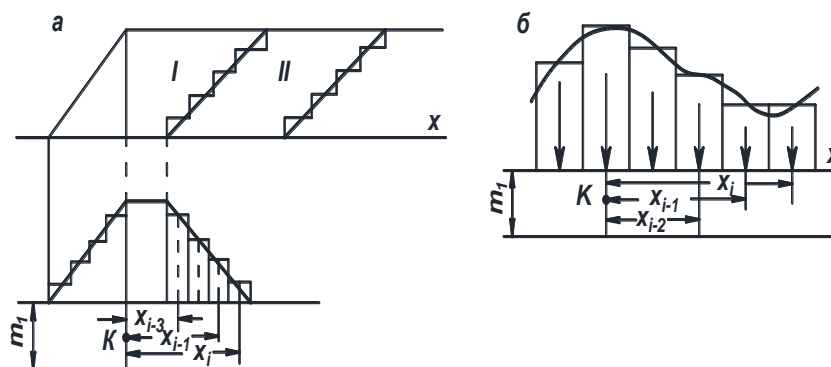


Рис. 3.11. Схемы использования решений плоской задачи уплотнения:
а – для равномерно распределенной нагрузки;
б – для сосредоточенной силы

Таблица 3.5. Расчетные ($P_{и}^{одн}$ и $P_{и}^{пл}$) и натурные ($P_{и}^{нат}$) значения избыточного порового давления

| Номер измерительной точки | Значения порового давления, кгс/см ² | | |
|---------------------------|---|-------------|--------------|
| | $P_{и. одн}$ | $P_{и. пл}$ | $P_{и. нат}$ |
| 1 | 1,76 | 1,33 | 1,51 |
| 2 | 1,76 | 1,45 | 1,38 |
| 3 | 1,76 | 1,33 | 1,45 |
| 4 | 0,4 | 0,23 | 0,25 |
| 5 | 0,22 | 0,16 | 0,10 |
| 6 | 1,76 | 1,43 | 1,47 |
| 7 | 1,76 | 1,34 | 1,35 |

Роль порового давления в развитии оползня отвала № 3–а для зоны натурных замеров подтверждена расчетами устойчивости. С учетом реальных условий дренирования тела и основания насыпи использовали паспорта прочности, полученные при неконсолидированно-недренированных испытаниях. Коэффициент запаса устойчивости откоса нижнего яруса составил соответственно 0,67 и 0,70 при расчетах методами максимальных касательных напряжений и многоугольника сил. Таким образом, расчеты показали, что устойчивость отвального откоса даже малой (11 м) высоты не может быть обеспечена, если не приняты меры для упрочнения сильносжимаемых пород основания.

Подобные исследования с закладкой датчиков в основание отвала из глинистых песков в глинистые породы насыпного основания отвала (внутрикарьерной автодороги) и тело отвала были проведены на Богдановском марганцеворудном карьере. В основании отвала залегали водонасыщенные породы (коэффициент водонасыщения $G_I \geq 0,9$) и поровая вода воспринимала от 50-59 до 5% внешней нагрузки. Такой разброс значений порового давления вызван значительными различиями фильтрационных характеристик пород. Вода из слоя перемешанных лёссовидных суглинков и красно-бурых глин отжималась в слой глинистых песков и далее в сторону откоса (к зонам с пониженным давлением). В самом отвале $P_u = 0,3$ кгс/см², что было связано с низкой водонасыщенностью слагающих насыпь глин ($G_I = 0,7$).

А.М.Гальпериным были получены решения задач уплотнения техногенных массивов, описывающие различные этапы их существования [11].

Для гидроотвалов и хвостохранилищ рассмотрено уплотнение слоя переменной (возрастающей во времени по закону $h=\alpha t$) мощности. Для оснований сухих отвалов рассматривалось уплотнение слоя конечной мощности под действием равномерно распределенной (полосовой) нагрузки – плоская и одномерная задачи [26]. Была установлена сходимость решений этих задач при отношении ширины полосы загрузки $2a$ к мощности сжимаемого слоя m $2a/m=5\div 10$. Значения избыточного порового давления в водонасыщенном слое (коэффициент водонасыщения $G \approx 1$) $P_{и}^{одн}$ и $P_{и}^{пл}$ сопоставлялись с фактическими величинами для точек измерения порового давления в основании отвала № 3-а МЖК (табл. 3.5).

Применительно к гидроотвалу «Березовый Лог» на карте фактического материала показаны основные инженерно-геологические скважины, которые использовались при интерпретации данных зондирования и расчетах уплотнения намывного массива (рис. 3.12). Зондирование проводилось кафедрой геологии МГИ совместно с буровыми бригадами Укргидропроекта, ВИОГЕМа, НИИКМА. Результаты зондирования отражались на инженерно-геологических

разрезах гидроотвала, один из которых показан на рис. 3.13. Линии I-I и II-II (рис. 3.12) приурочены к границам между секциями гидроотвала, линия III-III совпадает с продольной осью третьей дренажной призмы.

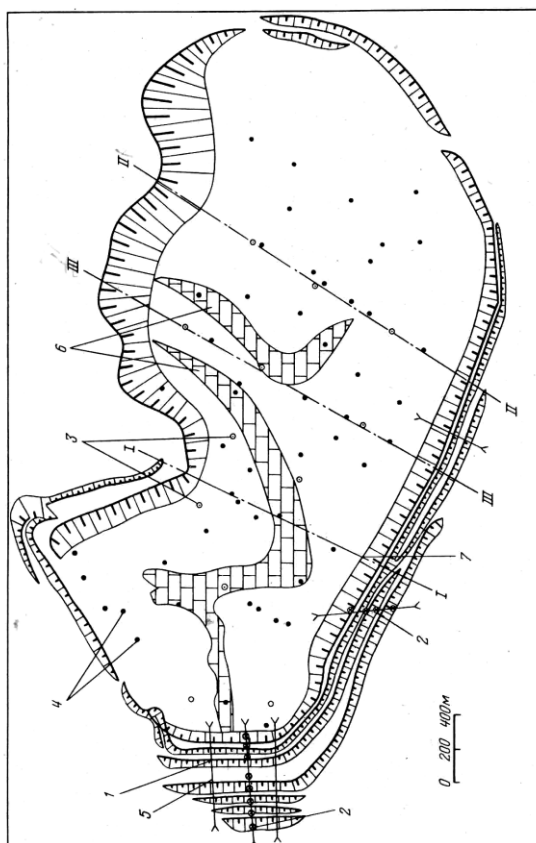


Рис. 3.12. Карта фактического материала гидроотвала "Березовый Лог":

1 — откосные сооружения; 2 — точки закладки стационарных датчиков порового давления; 3 — инженерно-геологические скважины; 4 — точки зондирования; 5 — пьезометрические профили; 6 — выходы коренных мелов в ложе гидроотвала; 7 — линии инженерно-геологических разрезов (продольные оси разделительных дренажных призм)

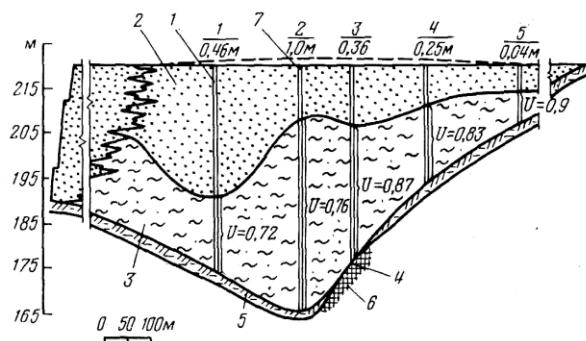


Рис. 3.13. Инженерно-геологический разрез гидроотвала «Березовый Лог» по линии I-I.

1 — инженерно-геологическая скважина и ее номер; 2 — песок намывной, мелко- и среднезернистый, местами с обломками мела и прослоями глинисто-меловых паст; 3 — суглинисто-меловая паста с прослоями песка и суглинка; 4 — щебень, дресва, галька плохой окатанности, мел с суглинистым заполнителем; 5 — почвенно-растительный слой — суглинок покровный; 6 — мел белый, слабый, трещиноватый, по трещинам ожелезненный; 7 — осадка намывного слоя и ее величина, м

Полученные по результатам вращательных срезов обобщенные показатели сопротивления сдвигу глинисто-меловых намывных масс на участке упорной призмы при $U=1$ составляют $\varphi=16^\circ$, $C_k=0,04$ МПа.

В пределах первой секции (ближайшей к стационарным пульповодам) на северной упорной призме зондировалась толща мощностью свыше 50 м. Замеры штанговыми пьезодинамометрами не выявили наличия избыточного порового давления в намывном массиве и основании гидроотвала. Вид зависимости $C_v(q)$ для глинисто-меловых пород определялся с помощью графиков функции $U=f(\mu)$ при одностороннем и двустороннем дренировании слоев (рис. 3.4, 3.5). Значения коэффициента консолидации определялись при $U=1$ по соотношению

$$C_v = h_n v_n / \mu, \quad (3.6)$$

где $\mu=7,493 \cdot 10^{-2}$ (односторонний дренаж) и $\mu=0,05$ (двусторонний дренаж). Для глинисто-меловых намывных масс в пределах первой секции получено:

$$C_v = 0,14 \exp(-0,07q), \quad (3.7)$$

где C_v — интегральная характеристика слоистой толщи (включающей также мелкие прослойки песка и меловую гальку); $q=\gamma'h/2$. Расчетные значения параметров сопротивления сдвигу глинисто-меловых намывных масс первой секции, полученные при обработке данных испытаний поворотной крыльчаткой, составили $\varphi=18^\circ$, $C=0,04$ МПа ($U=1$). Вариация значений этих параметров по отношению к их средним величинам для краевых участков секции составляет около 20 %.

Полевые работы во второй и третьей секциях позволили оценить положительное (уплотняющее) влияние дренажных элементов на глинисто-меловых отложения. На рис. 3.13 представлен инженерно-геологический разрез гидроотвала по оси первой разделительной дренажной призмы (линия I-I на рис. 3.12). Разрез отражает состояние намывного массива на момент завершения шестнадцатого сезона работ. Для второй секции натурные замеры выявили наличие избыточного порового давления в намывных грунтах.

По установленной натурными измерениями порового давления степени уплотнения слоев с двусторонним дренажем определен следующий вид зависимости $C_v = f(q)$ для глинисто-меловых пород второй секции:

$$C = 0,08 \exp(-0,11q). \quad (3.8)$$

Полученные путем перестройки обобщенного графика $\tau = f(\sigma_n)$ в эффективных напряжениях (с учетом определенных при зондировании значений избыточного порового давления) расчетные параметры сопротивления сдвигу глинисто-меловых пород второй секции ядерной зоны составили : $\varphi_k = 16^\circ$, $C_k = 0,025$ МПа.

При создании I-ой дренажной призмы использовались как стационарные датчики порового давления, так и комплексное зондирование для оценки состояния глинисто-меловых намывных отложений. Выявлен существенный уплотняющий эффект от призмы, что проявилось в увеличении степени уплотнения тонкодисперсных отложений (рис. 3.13).

На рис. 3.14 сопоставляются эпюры тотальных напряжений и избыточного порового давления для глинисто-меловой толщи, размещаемой на водоупоре (скв. 2) и дренаже (скв. 3).

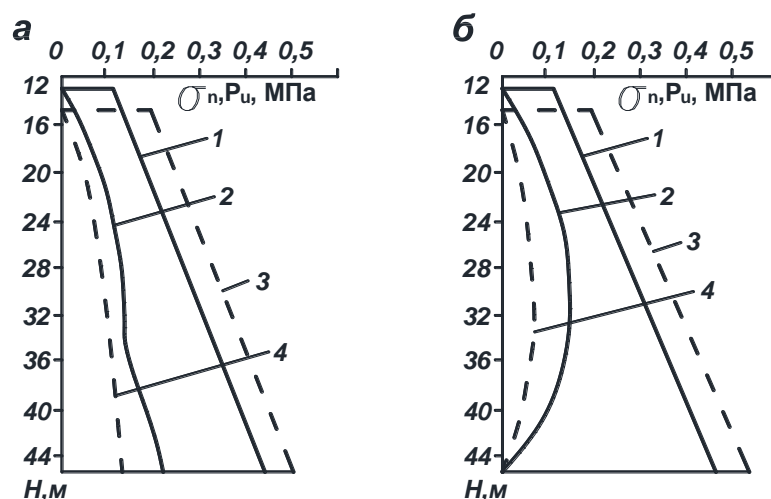


Рис. 3.14. Эпюры тотальных напряжений $\sigma_n(1, 3)$ и избыточного порового давления $P_u(2, 4)$ от H глинисто-меловых грунтов на участке формирования песчаной дренажной призмы: а – намывная толща на водоупоре; б – намывная толща на дренаже.

Мощность песка в теле дренажной призмы и массиве глинисто-меловых грунтов изменялась за двухгодичный период между моментами зондирования соответственно в следующих пределах: скв. 2 – 9,6 – 15,6 м; 43 – 40,5 м; скв. 3 – 8,8 – 15 м; 32,7—30 м. Из эпюр на рис. 3.14 следует, что степень уплотнения толщи тонкодисперсных грунтов значительно увеличилась: на водоупоре $U_{77} = 0,53$, $U_{79} = 0,76$; на дренаже $U_{77} = 0,73$, $U_{79} = 0,87$.

При зондировании второй секции определены места выхода коренных мелов в ложе гидроотвала, а также намечено положение отсечных призм, ограничивающих рекультивационные карты в пределах секции. Установлена также необходимость создания третьей дренажной призмы, продольная ось которой совпадает с линией III-III (рис. 3.12).

Натурные исследования состояния тонкодисперсных грунтов третьей секции выполнялись на заключительном этапе формирования гидроотвала. В результате обработки результатов комплексного зондирования установлены характеристики сопротивления сдвигу консолидированных грунтов ($\varphi_k = 14^\circ$, $C_k = 0,018$ МПа) и определена зависимость для расчета коэффициента консолидации:

$$C_v = 0,06 \exp(-0,13q). \quad (3.9)$$

Зондирование намывного основания второй дренажной призмы позволило получить исходные данные, необходимые для обоснования развития сооружения для увеличения вместимости. с целью создания дополнительной емкости третьей секции посредством создания пористого штампа из хвостов обогащения комбината «КМАруда».

Общая степень уплотнения U_Σ намывного основания дренажной призмы № 2 определялась по принципу суперпозиции из решений следующих задач уплотнения [7, 11, 16]:

- а) уплотнение слоя переменной мощности на водоупоре [$U = f(\mu)$];
- б) «отдых» слоя мощностью h_a под действием собственного веса слагающих его грунтов [$U = f(m_1)$];
- в) уплотнение слоя мощностью h_a' под действием постепенно вырастающей нагрузки от дренажной призмы [$U = f(m_2)$];

г) «отдых» слоя мощностью $h'_я$ под действием постоянной внешней нагрузки от дренажной призмы после завершения ее формирования [$U=f(m'_1)$].

Коэффициент консолидации определялся по формуле $C_v(q)$ для следующих значений удельной нагрузки q :

- в период формирования ядерной зоны:

$$C_{v1} = f(\gamma' h'_я / 2); \quad (3.10)$$

- после создания дренажной призмы мощность глинисто-меловых грунтов уменьшается от $h_я$ до $h'_я$ и

$$C_{v2} = f(q_{вн} + \gamma' h'_я / 2), \quad (3.11)$$

где $q_{вн}$ - удельная нагрузка от дренажной призмы (с учетом ее надводной и подводной частей).

Начальная степень уплотнения глинисто-меловой толщи определялась по графику $U=f(\mu)$, где $\mu = h_я v_H / C_{v1}$ (рис. 3.4б). После начала намыва дренажной призмы уплотнение под действием собственной массы q_c и внешней нагрузки $q_{вн}$ рассматривается для глинисто-мелового слоя мощностью $h'_я$ (рис. 3.15).

Зондирование центральной части третьей секции в первые два года после окончания укладки гидровскрыши показало, что здесь процесс седиментации минеральных частиц еще не завершился: грунты обладали текучей консистенцией и их сопротивление вращательному срезу составило $\tau = 0,01 - 0,02$ МПа.

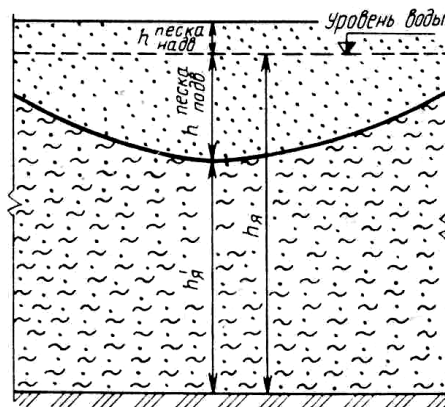


Рис. 3.15. Схема к расчету уплотнения намывных тонкодисперсных грунтов с учетом влияния дренажных призм

В результате подачи фильтрующих материалов (песков и отходов рудообогащения) в эту секцию степень уплотнения тонкодисперсных грунтов значительно возросла и через три года при $h'_y = 20 - 25$ м составила $U_\Sigma = 0,7 - 0,8$ (начальные значения $U_\Sigma = 0,3 - 0,4$).

Для гидроотвала «Симонова пасека» Стойленского карьера КМА по данным стационарных наблюдений за поровым давлением и зондирования для пляжной и ядерной зон в пределах мелового намывного массива получены следующие характеристики уплотняемости их во времени:

$$C_v = 0,11 \exp(-0,07q) \quad (3.12)$$

$$C_v = 0,08 \exp(-0,12q). \quad (3.13)$$

Параметры сопротивления сдвигу для указанных зон:

1) $\varphi_k^H = 22^\circ$, $C_k^H = 0,025$ МПа; 2) $\varphi_k^H = 17^\circ$, $C_k^H = 0,03$ МПа.

При натурных исследованиях на гидроотвале в балке Чуфичева (ЛГОК) были определены показатели прочностных свойств глинистых грунтов основания дамбы гидроотвала, создана система стационарного контроля устойчивости ее откосов и определены механические характеристики меловых намывных отложений [8, 71, 72]:

а) $\varphi_3 = 5^\circ$, $C_k^3 = 0,015$ МПа ($U=0$); б) $\varphi_k = 18^\circ$, $C_k = 0,03$ МПа ($U=1$).

По результатам проведенных исследований построены карта инженерно-геологического районирования (рис.3.16).

Для предварительной оценки состояния намывных масс гидроотвалов карьеров Семилукского огнеупорного завода был применен метод инженерно-геологических аналогий. С учетом структурной позиции и геологического строения Семилукской группы месторождений огнеупорных глин использованы характеристики тонкодисперсных масс гидроотвала «Березовый Лог». Для «отдыхающих» гидроотвалов карьера «Стрелица» приняты обобщенные показатели компрессии и консолидации глинисто-меловых грунтов линз в песчаной упорной призме, для гидроотвалов карьера «Средний» - соответствующ-

щие показатели пород первой секции гидроотвала «Березовый Лог». Выполненные с использованием принятых показателей расчеты уплотнения для случая «отдыха» намывного слоя на водоупоре (рис. 3.6а) дали для центральных участков ядерных зон гидроотвалов № 3 и 5 карьера «Стрелица», № 2,3,4,5 карьера «Средний» значения осадок, отличающиеся от измеренных на 10-15 %.

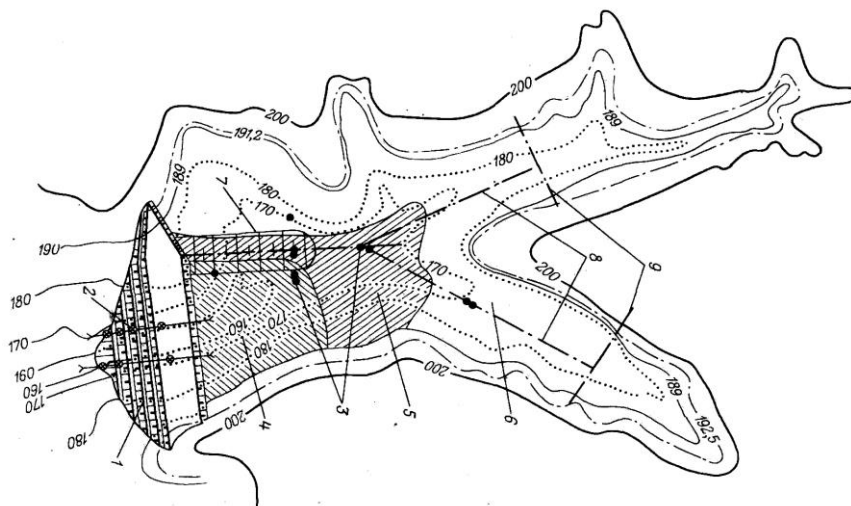


Рис. 3.16. Карта инженерно-геологического районирования гидроотвала в балке Чуфичева: 1 – откосные сооружения; 2 – точки стационарных замеров порового давления; 3 – точки комплексного зондирования; 4, 5, 6 – пляжная, промежуточная и ядерная зоны; 7 – дренажная призма соответственно (начальное положение); 8, 9 – проектное положение осей дренажных призм и дамб.

Можно сделать предварительный вывод о схожести инженерно-геологических условий района строительства берегозащитной дамбы в дельте реки Меконг и нагружаемых оснований гидроотвалов, их дамб и намывных отложений под дренажными призмами региона КМА.

3.2. Натурные исследования техногенных массивов на горных предприятиях Кузбасса

В Кузбассе с целью оценки несущей способности пород и возможностей повышения емкости гидроотвала разреза «Краснобродский» также были проведены комплексные исследования процессов консолидации. Натурные наблюдения включали замеры порового давления датчиками-пьезодинамометрами конструкции Гидропроекта и инструментальные замеры осадок намывных суглинков под действием внешней нагрузки от уложенных гидравлическим

способом полускальных пород. В зонах замера порового давления бурили скважины, из которых отбирали образцы для лабораторных испытаний. Расположение наблюдательных точек и профилей показано на плане гидроотвала (рис. 3.17).

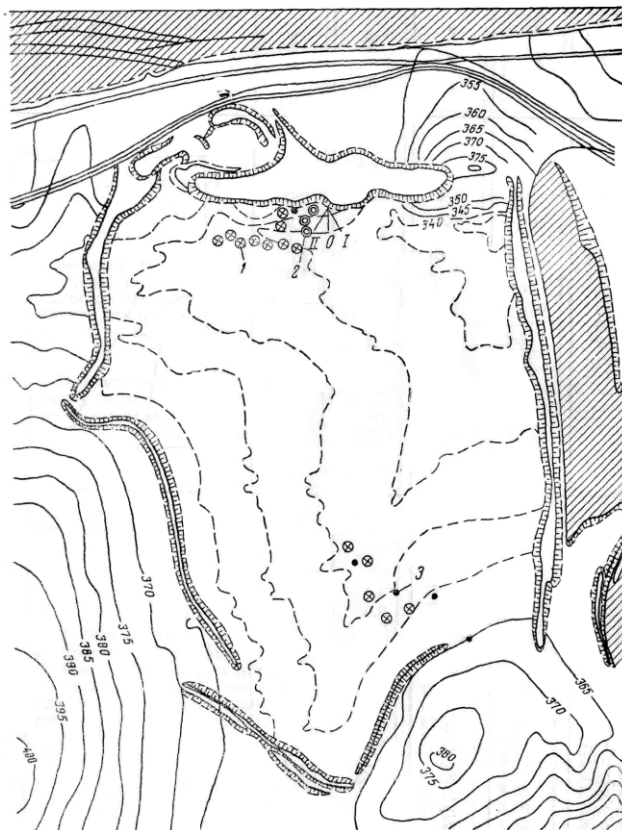


Рис. 3.17. План Новобачатского гидроотвала разреза «Краснобродский» (Кузбасс):
1 – точки зондирования; 2 – точки закладки стационарных датчиков; 3 – точки отбора монолитов; 0, I, II – контрольные профили на участке опытного намыва полускальных пород

С помощью буровой установки УКБ-500, размещенной на льду или непосредственно на намывных массах, штанговые пьезодинамометры задавливались в толщу намывных суглинков на глубину до 16 м в основание, представленное почвенным слоем и суглинками естественного залегания.

Усредненные результаты замеров порового давления в намывных суглинках (зона мощностью около 16 м) приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Усредненные результаты замеров порового давления в намывных суглинках

| Давление воды в породах, кгс/см ² | Глубина зондирования, м | | | | | | | |
|--|-------------------------|------|------|------|------|-----|------|------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| Общее P_{ω} | 0,26 | 0,56 | 0,85 | 1,28 | 1,54 | 1,8 | 2,16 | 2,40 |
| Избыточное $P_{и}$ | 0,06 | 0,16 | 0,25 | 0,48 | 0,54 | 0,8 | 0,76 | 0,8 |

Намыв гидроотвала закончен в 1970 г. Скорость намыва v_n составляла до 2 м/год.

При зондировании с небольшими интервалами по глубине, как это имело место на Новобачатском гидроотвале, становится возможным точно определить степень уплотнения U намывного слоя по площади эпюр эффективных и тотальных напряжений.

Получено $U=0,5$. Знание величины U позволяет подобрать график сопротивления сдвигу намывных пород, наиболее надежный для оценки устойчивости отвальных масс на момент зондирования.

Для участка с мощностью намывных суглинков 16 м на максимальной глубине зафиксировано общее давление воды $P_\omega=2,4$ кгс/см², которому соответствует избыточное поровое давление $P_u = 2,4 - 1,6 = 0,8$ кгс/см². В намывной толще мощностью до 5 м избыточное поровое давление равно нулю (т.е. $P_\omega = \gamma_v h$). Натурные данные свидетельствуют о том, что за более чем двухгодичный период «отдыха» в слоях мощностью до 5 м происходит уплотнение намывных пород под действием собственного веса, и избыточное поровое давление рассеивается полностью.

Натурные замеры в приоткосной зоне Восточной дамбы (стационарные измерительные точки 1, 2, 3), где отмечается интенсивное выдавливание намывных суглинков, показывают, что поровое давление на глубинах от 2 до 9 м меньше гидростатического ($\gamma_v h$). Указанное явление объясняется разбивкой оползневого клина на блоки в зоне выдавливания и сокращением путей фильтрации поровой воды в основании из намывных суглинков (точки 1 и 2 – удалены от нижней бровки соответственно на 20 и 32 м).

Влияние откоса дамбы на величину порового давления в намывных суглинках перестает сказываться с удалением от нижней бровки на расстояние, превышающее высоту дамбы (точка 5 – 57 м).

Результаты зондирования использованы для определения коэффициента консолидации намывных суглинков по данным натурных замеров избыточного порового давления. При интерпретации полученных данных использовалась

расчетная схема к задаче уплотнения слоя переменной (возрастающей во времени) мощности на водоупоре (рис. 3.4б). В связи с отсутствием результатов замера порового давления на момент окончания намыва гидроотвала (ноябрь 1970 г.) период «отдыха» (1970-1972 гг.) включался в период намыва (t_n), который был начат в мае 1956 г. Указанное допущение не вызывает больших погрешностей, так как мощность намывной толщи весьма значительна (16 м), а уплотнение намывных суглинков в мощных слоях протекает очень медленно. По величине степени уплотнения $U = 0,5$ с графика $F_2(\mu) = U$ (рис. 3.4б) получено $\mu = 1,32$ и затем определен коэффициент консолидации в виде $C_v h v_w / \mu = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{сут}$ (при этом $q_{cp} = 0,8 \text{ кгс/см}^2$). Обработка результатов замера осадок производилась по трем измерительным профилям в зоне намыва дробленых полускальных пород на намытые ранее суглинки. На рис. 3.18 показан осевой профиль. Расчетные точки в пределах профилей выбирались таким образом, чтобы было допустимо использование одномерной задачи уплотнения. Положение всех расчетных точек удовлетворяет условию $a_l/h_c \approx 5$, где a_l — полуширина полосы загрузки; $h_c = 13 \div 16 \text{ м}$ — мощность намывного слоя.

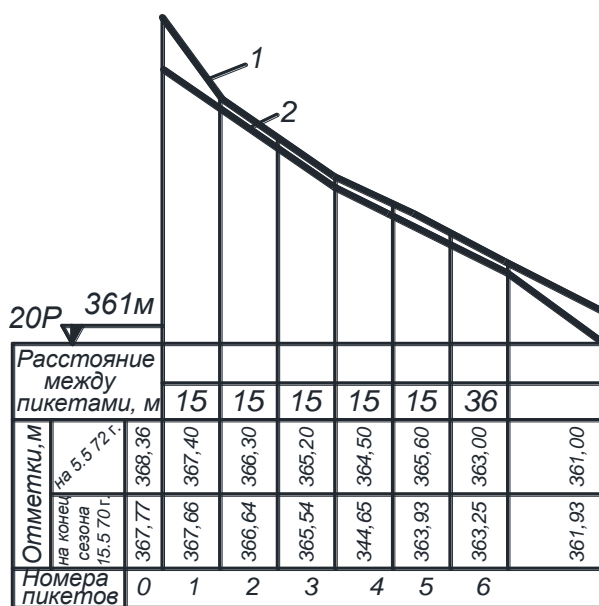


Рис. 3.18. Осевой профиль по участку опытного намыва на Новобачатском гидроотвале: 1 и 2 - контуры намытых на искусственное основание полускальных пород соответственно на 12.11.1970, 1.05.1972

Обрабатывались данные за период с 12 ноября 1970 по 5 мая 1972 г.

($t = 533$ сут). Период намыва не учитывался, т.е. нагрузка от полускальных пород рассматривалась как приложенная мгновенно в связи с кратковременностью периода нагружения. Осадки слоев намывных суглинков S_c определялись путем вычитания из общей осадки $S_{\text{общ}}$ стабилизированных осадок намывных полускальных пород $S_{\text{п}}$ и суглинков основания S_o , полученных с использованием данных компрессионных испытаний.

Стабилизация пород основания установлена при зондировании штанговыми пьезодинамометрами, осадка слоя дробленых полускальных пород мощностью $h_{\text{п}}$ принята равной максимальной с учетом интенсивной уплотняемости раздельно-обломочных пород. Коэффициенты консолидации намывных суглинков определяли с помощью графика $F_{10} = U = f(m)$ при $q = \text{const}$ (рис. 3.8б) способом.

Результаты определения степени уплотнения и коэффициентов консолидации намывных суглинков по данным инструментальных наблюдений приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Результаты определения степени уплотнения и коэффициентов консолидации намывных суглинков по данным инструментальных наблюдений

| Профиль (точка) | $h_{\text{п}}, \text{м}$ | $q, \text{кгс/см}^2$ | $S_{\text{общ}}, \text{м}$ | $S_{\text{п}}, \text{м}$ | $(S_c)_{\infty}, \text{м}$ | U | m | $C_v, \text{м}^2/\text{сут}$ |
|--------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|------|------|------------------------------|
| I (4) | 3,52 | 0,7 | 0,42 | 0,07 | 0,66 | 0,33 | 0,17 | $3,3 \cdot 10^{-2}$ |
| Осевой (4) | 4 | 0,7 | 0,35 | 0,08 | 0,57 | 0,36 | 0,24 | $3,1 \cdot 10^{-2}$ |
| II (4) | 4 | 0,8 | 0,40 | 0,08 | 0,65 | 0,29 | 0,18 | $3,12 \cdot 10^{-2}$ |

Обработка материалов, полученных с помощью зондирования и наблюдений за осадками, позволила установить следующий вид зависимости $C_v(q)$ для намывных суглинков Новобачатского гидроотвала:

$$C_v = 0,033e^{-0,06q}. \quad (3.14)$$

В Кузбассе натурные исследования состояния намывных массивов выполнялись Московским горным институтом на гидроотвалах «Бековский», «Свободный» (разрез им. 50-летия Октября), «Новобачатский» (разрез «Краснобродский»), «Южный» (разрез «Колмогоровский»), № 3 (разрез «Кедровский») и «Прямой Ускат» (разрез «Новосергеевский») [6, 23, 73, 74].

Процессы уплотнения глинистых грунтов этих гидроотвалов изучались также ВНИМИ, сотрудниками которого были выполнены измерения порового давления стационарными датчиками и определены осадки намывной толщи [33, 35].

Обработка результатов комплексного зондирования с целью определения коэффициентов консолидации намывных грунтов различных зон гидроотвалов выполнялась различными способами для действующих и заполненных («отдыхающих») гидроотвалов.

При обработке результатов зондирования намывных толщ, формирование которых уже завершилось, использовалось решение задачи уплотнения намывного слоя для периода его «отдыха» (см. рис. 3.6а). Однако непосредственное использование графиков для обратных расчетов C_v не представляется возможным, так как степень уплотнения слоя определялась в зависимости от двух содержащих искомую величину параметров $\mu = hv_n/C_v$ и $m = \pi^2 C_v t / 4h$, где t — время между предварительным уплотнением массива и возведением дамбы. Поэтому был применен способ, основанный на использовании решения задачи уплотнения расположенного на водоупоре слоя переменной мощности для периода «отдыха» (прекращения намыва) в следующем виде:

$$U = \frac{\omega(P_{эф})}{\omega(P_{ст})} = 1 - \frac{32 \exp(-KC_v)}{\pi} \times \frac{\pi \exp\left(-\frac{A}{2C_v}\right) \left[\frac{A^2 + 4AC_v + \pi^2 C_v^2}{C_v^2} \right] - \frac{(\pi^2 C_v - A^2)}{C_v}}{\frac{(A + 2C_v) \left(\frac{A^2 + \pi^2 C_v^2}{C_v^2} \right)^2}{C_v} - \frac{\pi^3 \exp\left(\frac{A}{2C_v}\right) - \frac{2(A^2 C_v + A^3 + 2\pi^2 C_v^3)}{C_v^3}}{\pi^2 \frac{(A^2 + \pi^2 C_v^2)(A + 2C_v)}{C_v^3}}} \quad (3.15)$$

где $K = \frac{\pi^2}{4h^2} t_0$; $A = hv_n$.

Применительно к условиям гидроотвала «Новобачатский» разреза «Краснобродский» выполнялись обратные расчеты коэффициента консолидации C_v по данным зондирования, выполнявшегося через 4 года (первый этап) и 9 лет (второй этап) после завершения намыва гидроотвала [75].

Исходные данные и результаты обратных расчетов коэффициента консолидации намывных масс представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8. Исходные данные и результаты обратных расчетов коэффициента консолидации намывных масс

| Зона гидроотвала | № скв. | h, м | K, сут/м ² | A, м ² /сут | U | C _v , м ² /сут |
|----------------------------|--------|------|-----------------------|------------------------|------|--------------------------------------|
| Пляжная (I этап) | 1 | 12 | 9,133 | 0,0566 | 0,64 | 4,86.10 ⁻² |
| | 2 | 16 | 5,14 | 0,0755 | 0,5 | 4,81.10 ⁻² |
| | 6 | 18 | 4,06 | 0,0849 | 0,45 | 4,78.10 ⁻² |
| Ядерная (I этап) | 11 | 6,5 | 31,13 | 0,0196 | 0,9 | 3,68.10 ⁻² |
| | 3 | 10,4 | 12,16 | 0,0314 | 0,73 | 3,61.10 ⁻² |
| | 9 | 13,2 | 7,55 | 0,0399 | 0,63 | 3,56.10 ⁻² |
| Промежуточная (II этап) | 11-а | 6 | 158,53 | 0,0181 | 1,0 | 4,20.10 ⁻² |
| | 8 | 10 | 57,071 | 0,0472 | 0,96 | 3,94.10 ⁻² |
| | 5 | 13,1 | 32,256 | 0,0395 | 0,88 | 3,86.10 ⁻² |
| Ядерная (II этап) | 2 | 11 | 47,166 | 0,0332 | 0,91 | 3,6.10 ⁻² |
| | 4 | 13,5 | 31,315 | 0,0408 | 0,82 | 3,56.10 ⁻² |
| | 7 | 16 | 22,29 | 0,0483 | 0,75 | 3,52.10 ⁻² |

Положение точек зондирования в плане и инженерно-геологический разрез гидроотвала «Новобачатский» показаны на рис. 3.19, 3.20.

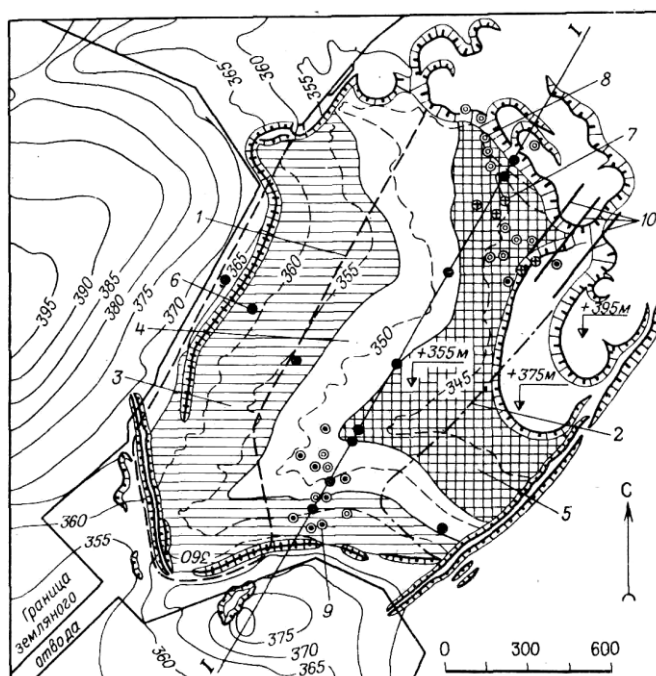


Рис. 3.19. Карта инженерно-геологического районирования гидроотвала «Новобачатский» (разрез «Краснообродский», Кузбасс): 1 - граница экскаваторного отвала; 2 – граница автомобильного отвала; 3, 4, 5 – зоны гидроотвала со степенью уплотнения намывных масс U соответственно 1,0; 0,8÷0,9; 0,9÷1,0; 6 – точки комплексного зондирования; 7 – стационарные датчики порового давления; 8 – точки зондирования основания штанговыми пьезодинамометрами; 9 - инженерно-геологические скважины; 10 – профили инструментальных наблюдений за осадками намывных полускальных пород

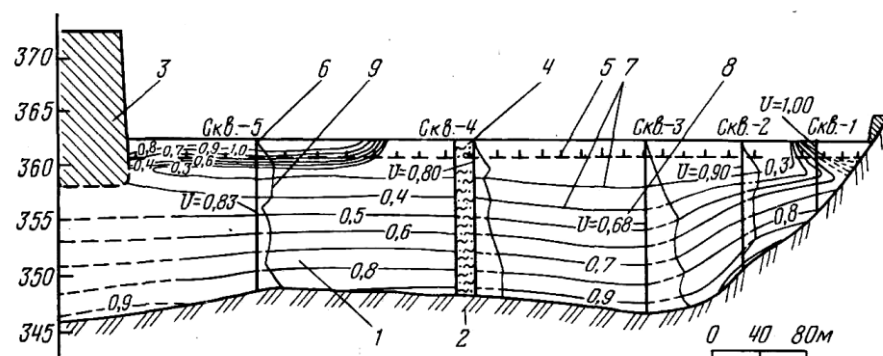


Рис. 3.20. Инженерно-геологический разрез гидроотвала «Новобачатский» по линии П-П на рис.3.19: 1 – намывные глинистые грунты; 2 – почвенно-растительный слой; 3 – сухой отвал; 4 – лед; 5 – граница сезоннопромерзающего слоя; 6 – буровая или зондировочная скважина и ее номер; 7 – линии равных величин сопротивления сдвигу ($\text{МПа} \cdot 10^{-1}$); 8 – степень уплотнения намывной толщи; 9 – эпюра порового давления для намывной толщи.

Обратные расчеты позволили уточнить вид зависимости коэффициента консолидации C_v от уплотняющего давления ($\text{МПа} \cdot 10^{-1}$) для зон:

$$\text{пляжной } C_v = 5,1 \times 10^{-2} \exp(-0,08q) \quad (3.16);$$

$$\text{промежуточной } C_v = 4,1 \times 10^{-2} \exp(-0,09q) \quad (3.17);$$

$$\text{ядерной } C_v = 3,8 \times 10^{-2} \exp(-0,11q) \quad (3.18)$$

Данные обратных расчетов на ЭВМ сопоставлялись с результатами определения C_v по графикам $U = f(C_v)$, получаемым с использованием решения задачи уплотнения для периода «отдыха» намывного слоя. Для известного диапазона C_v ($0,01-0,1$) $\text{м}^2/\text{сут}$ находят по графику $U = f(\mu, m)$ значения U и строят зависимость $U = f(C_v)$, по которой через полученные в натурных условиях значения степени уплотнения определяют C_v для слоев различной мощности.

Полученные зависимости $C_v(q)$ использованы при расчетах порового давления в намывных массивах других гидроотвалов Кузбасса, где выполнялось зондирование. На основе сопоставления расчетных и натурных данных эти зависимости рекомендуются к использованию для всех исследованных гидроотвалов бассейна.

Натурные исследования процессов уплотнения намывных оснований должны включать как определение степени уплотнения (зондированием штанговыми пьезодинамометрами или по показаниям стационарных датчиков

порового давления), так и замеры осадок. Систематические замеры порового давления P_u и осадок S намывных толщ обеспечивают возможность определения по натурным данным всех расчетных показателей, необходимых для прогнозной оценки уплотняемости намывных тонкодисперсных грунтов. При известной степени уплотнения слоя U и измеренной на момент времени t осадке его $S(t)$ приведенный коэффициент сжимаемости:

$$a_0 = \frac{a}{1 + \varepsilon_{cp}}, \quad (3.19)$$

где $a = \Delta\varepsilon/(\Delta q)$ - коэффициент сжимаемости, характеризующий изменение коэффициента пористости ε от уплотняющей нагрузки q ; ε_{cp} - средний коэффициент пористости для рассматриваемого диапазона уплотняющего давления определяется по выражению

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\varepsilon(q_1) + \varepsilon(q_2)}{2}. \quad (3.20)$$

Замеры осадок намывного массива проводились на гидроотвале «Новобачатский» в течение свыше 500 суток около восточной дамбы гидроотвала в зоне намыва дробленых полускальных пород [22]. Уплотняющее давление (от собственного веса и полускальных пород) изменялось в пределах 0,03-0,2 МПа. По результатам обратных расчетов приведенного коэффициента сжимаемости был построен график $a_0 = f(q)$ (рис. 3.21) для пляжной и ядерной зон гидроотвала.

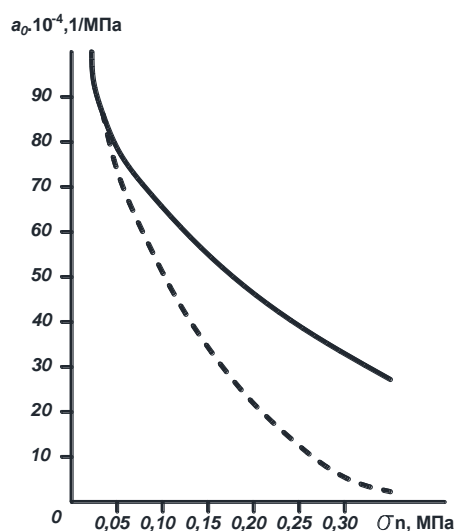


Рис. 3.21. Зависимости приведенного коэффициента сжимаемости a_0 от уплотняющего давления σ_n для ядерной (сплошная) и пляжной (пунктирная) зон гидроотвала

Обобщенные характеристики сопротивления сдвигу для грунтов гидроотвалов Кузбасса приводятся при рассмотрении вопросов инженерно-геологического районирования намывных территорий.

Сочетание измерений порового давления и осадок намывных слоев в период их «отдыха» (полного прекращения или перерыва в намыве) позволяет также получить из обратных расчетов параметры ползучести тонкодисперсных грунтов. При этом может использоваться методика, подобная предложенной М.Ю. Абелевым для естественных оснований, уплотняющихся под действием песчаной дамбы [54]. Полевые работы на намывных сооружениях КМА и Кузбасса дали возможность установить характер неоднородности техногенных отложений в плане и по глубине с учетом их «возраста» а также определить диапазон характеристик уплотняемости и прочности.

3.3. Пенетрационные испытания техногенных отложений

Техногенные массивы в Старо-Оскольском железорудном районе КМА были опробованы зондировочной машиной СПК-Т (станция пенетрационного каротажа телеметрическая), с помощью которой установлен литологический состав исследуемых отложений, лобовое и боковое сопротивление задавливанию зонда, гамма-фон, удельное сцепление и угол внутреннего трения. Получены исходные данные для оценки несущей способности отложений и устойчивости отвальных откосов.

Запись информации при проведении испытаний осуществляется синхронно, по мере вдавливания зонда, с помощью датчика глубины. С использованием станции СПК-Т проведено зондирование естественных оснований хвостохранилищ Лебединского и Стойленского ГОКов КМА, намывного массива гидроотвала «Березовый Лог» и насыпного массива мелового отвала Стойленского ГОКа [6]. На рис. 3.22 показана станция в работе и принципиальная схема каротажа [46].

Обобщение результатов лабораторных и полевых испытаний техногенных и естественных отложений позволило получить надежные характеристики сопротивления сдвигу и оценить устойчивость откосных сооружений и несущую способность слабых оснований.

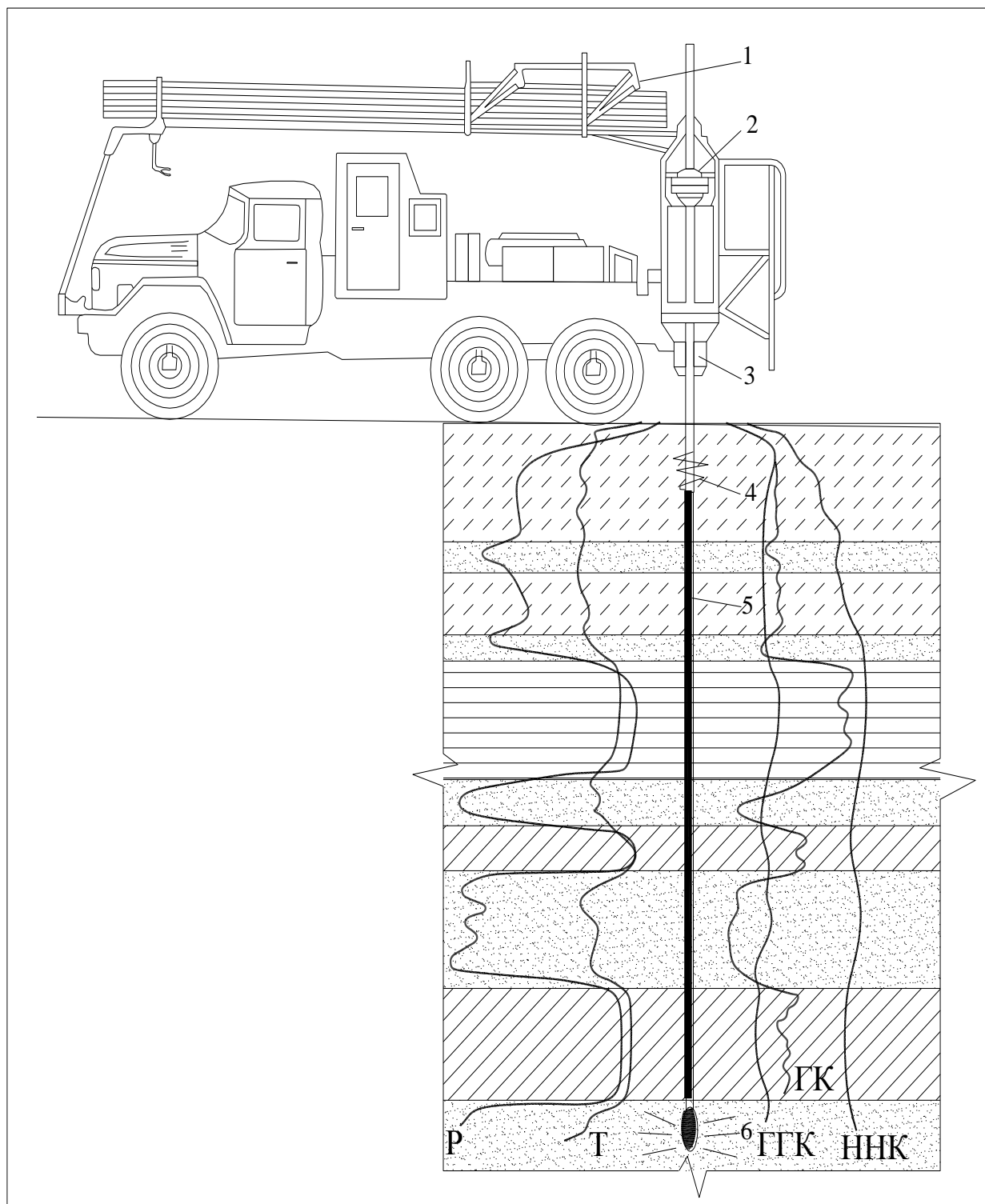


Рис. 3.22. Станция СПК-Т: 1 – манипулятор; 2 – вдавливающее устройство;
3 – проходной защитный контейнер; 4 – анкер; 5 – штанга; 6 – зонд

На рис. 3.23 дана карта районирования территории гидроотвала «Березовый Лог» по несущей способности намывного массива глинисто-меловых пород.

На рис. 3.24 дана колонка комплексного зондирования намывного массива гидроотвала «Березовый Лог» зондом МГГУ-ДИГЭС. Колонки зондирования для точек пенетрационного каротажа ТПК оснований дамб хвостохранилищ ЛГОК и СГОК, намывного массива гидроотвала «Березовый Лог» и тела мелового отвала СГОК даны на рис. 3.25.

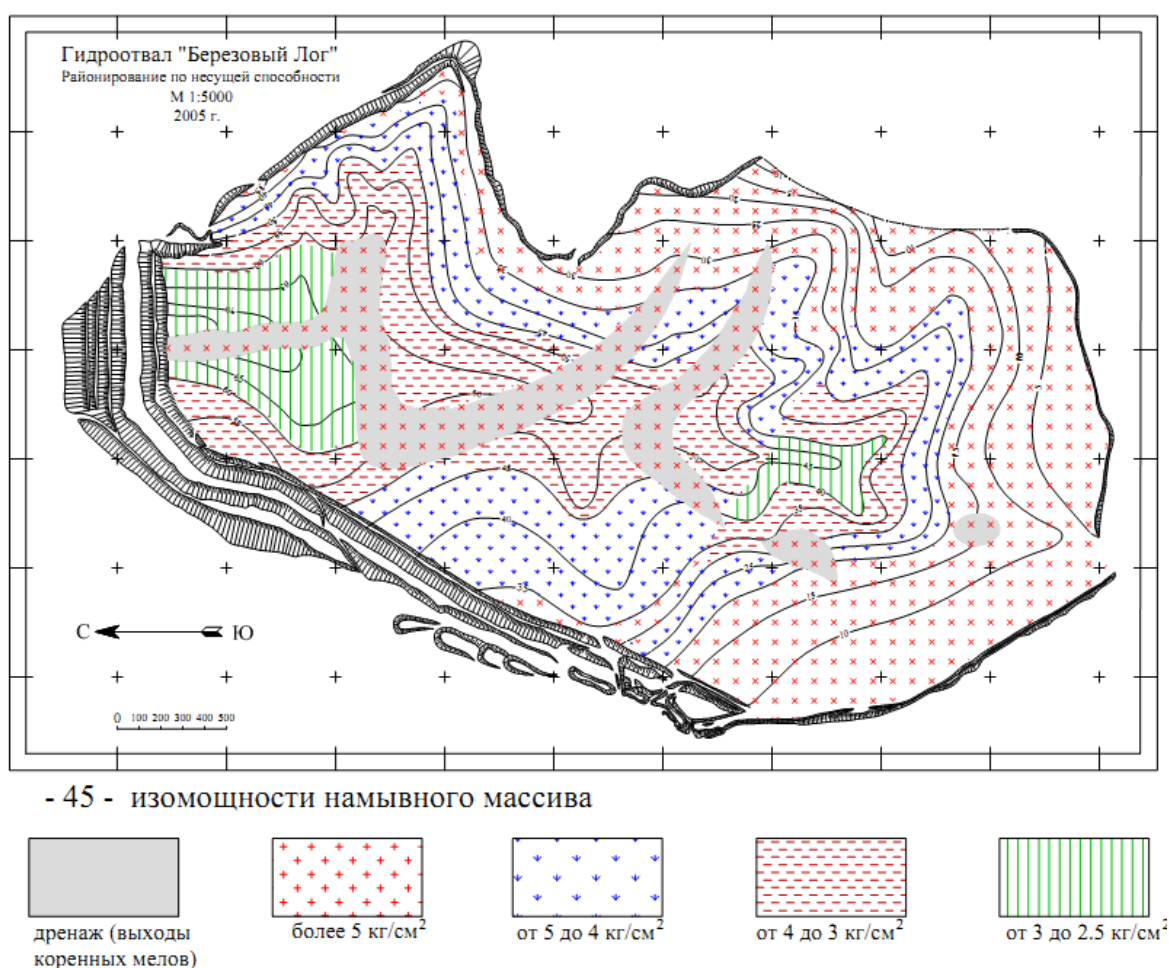
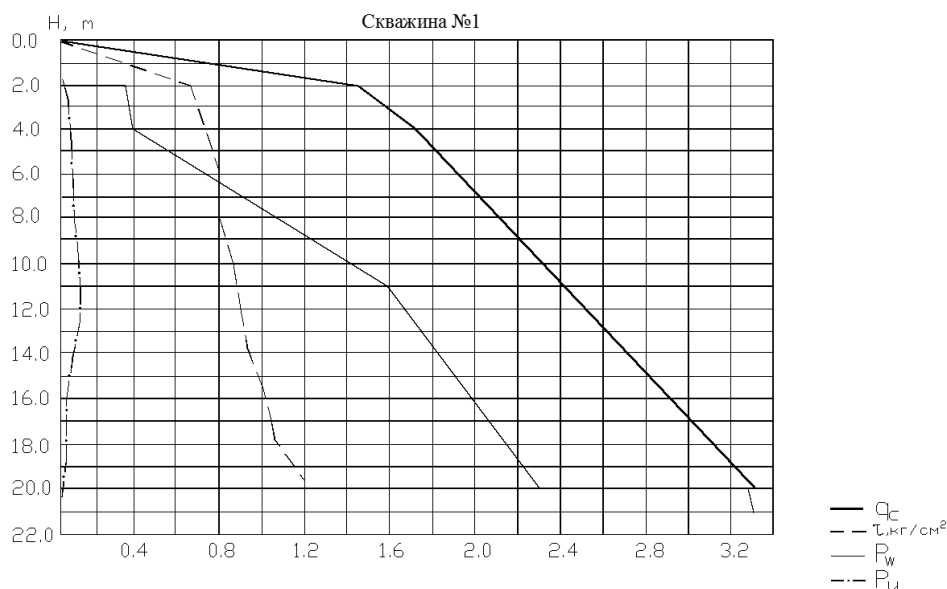


Рис. 3.23. Карта районирования территории гидроотвала «Березовый Лог» по несущей способности ($P_{\text{доп}}$)

Основные прочностные характеристики техногенных отложений были получены при помощи трехпараметрического зонда, а гамма-фон использовался для уточнения литологического состава исследуемых отложений.



$$U = 0.945$$

Рис. 3.24. Колонка комплексного зондирования намывных глинисто-меловых отложений зондом МГГУ-ДИГЭС: q_c – сопротивление пенетрации; τ – сопротивление сдвигу(вращательному срезу); P_w – общее давление воды; P_u – избыточное поровое давление

Выводы

Приведенный анализ результатов полевых работ показал, что комплексное зондирование техногенных массивов совмещалось с геодезическими наблюдениями и измерениями стационарными датчиками порового давления. Уточнена методика определения коэффициента консолидации и коэффициента сжимаемости тонкодисперсных водонасыщенных отложений на основании данных натурных измерений порового давления в процессе намыва и «отдыха» намывных слоев.

Для водонасыщенных отвальных отложений поровое давление рассматривается как индикатор их напряженно-деформированного состояния.

Для определения коэффициента консолидации намывных отложений через установленную зондированием степень уплотнения были использованы решения задач уплотнения слоев переменной (возрастающей во времени) мощности и глинистых отложений в основании – решения задачи уплотнения слоя под постепенно возрастающей внешней нагрузкой. Установлена хорошая сходимость расчетных и натурных значений осадок (расхождения не превышали 10%) основания упорной призмы крупнейшего гидроотвала «Березо-

Объект: северо-западная дамба ЛГОК, ТПК№13

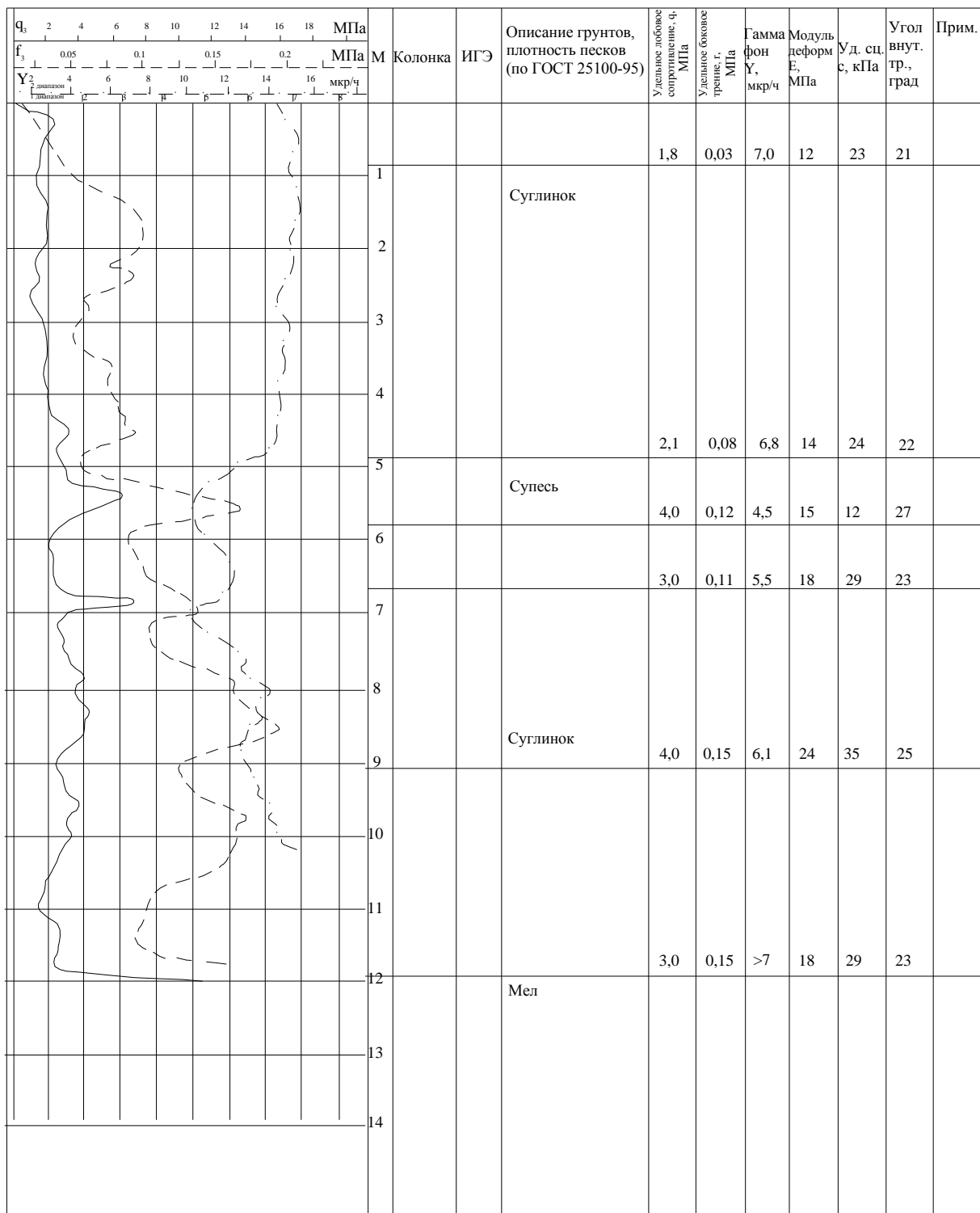


Рис. 3.25а. Колонка зондирования основания северо-западной дамбы хвостохранилища ЛГОК станцией СПКТ (ТПК№13)

Объект: головная дамба СГОК, ТПК№2

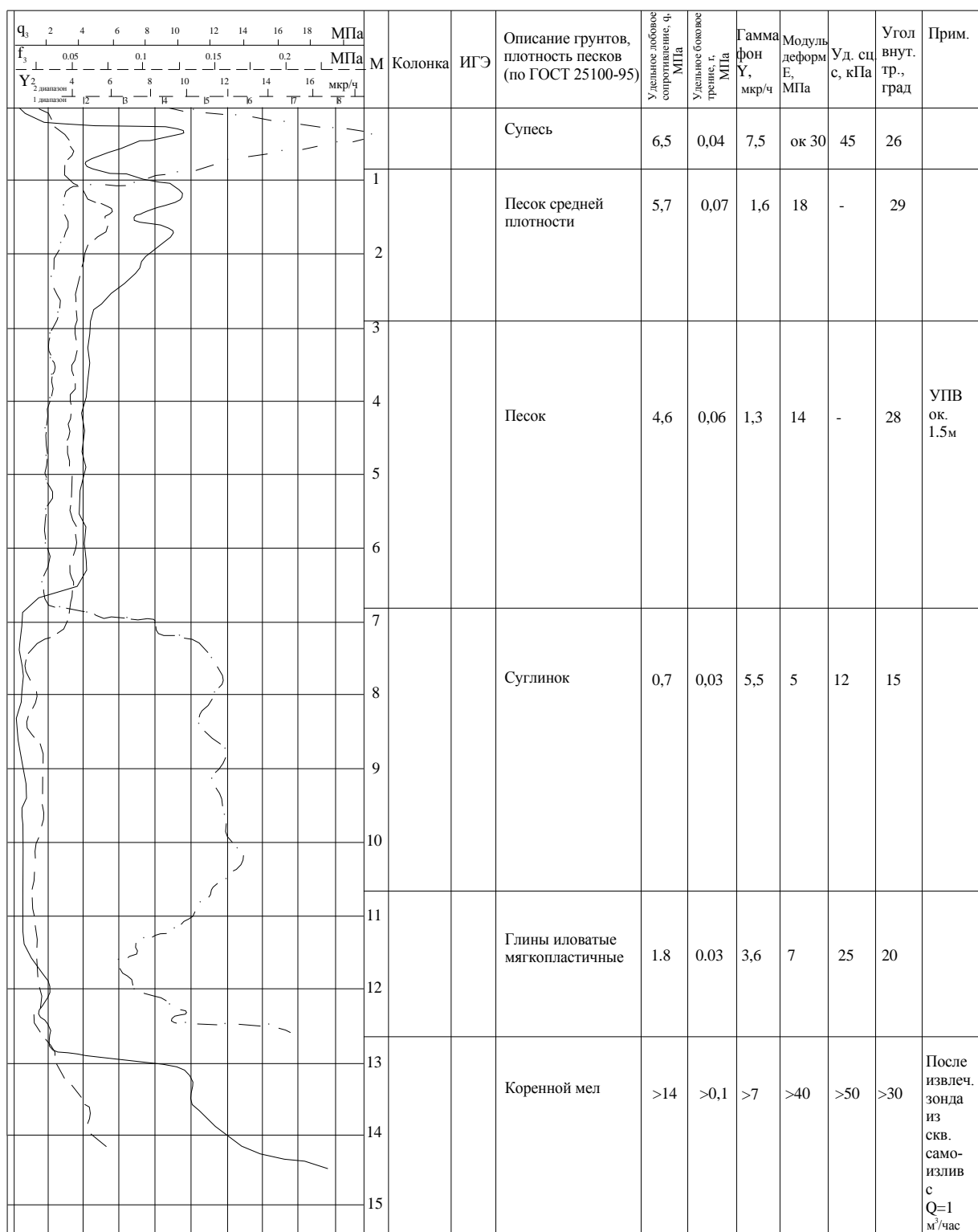


Рис. 3.25, б. Колонка зондирования основания головной дамбы хвостохранилища СГОК станцией СПКТ (ТПК№ 2)

Объект: меловой отвал СГОК, ТПК №17

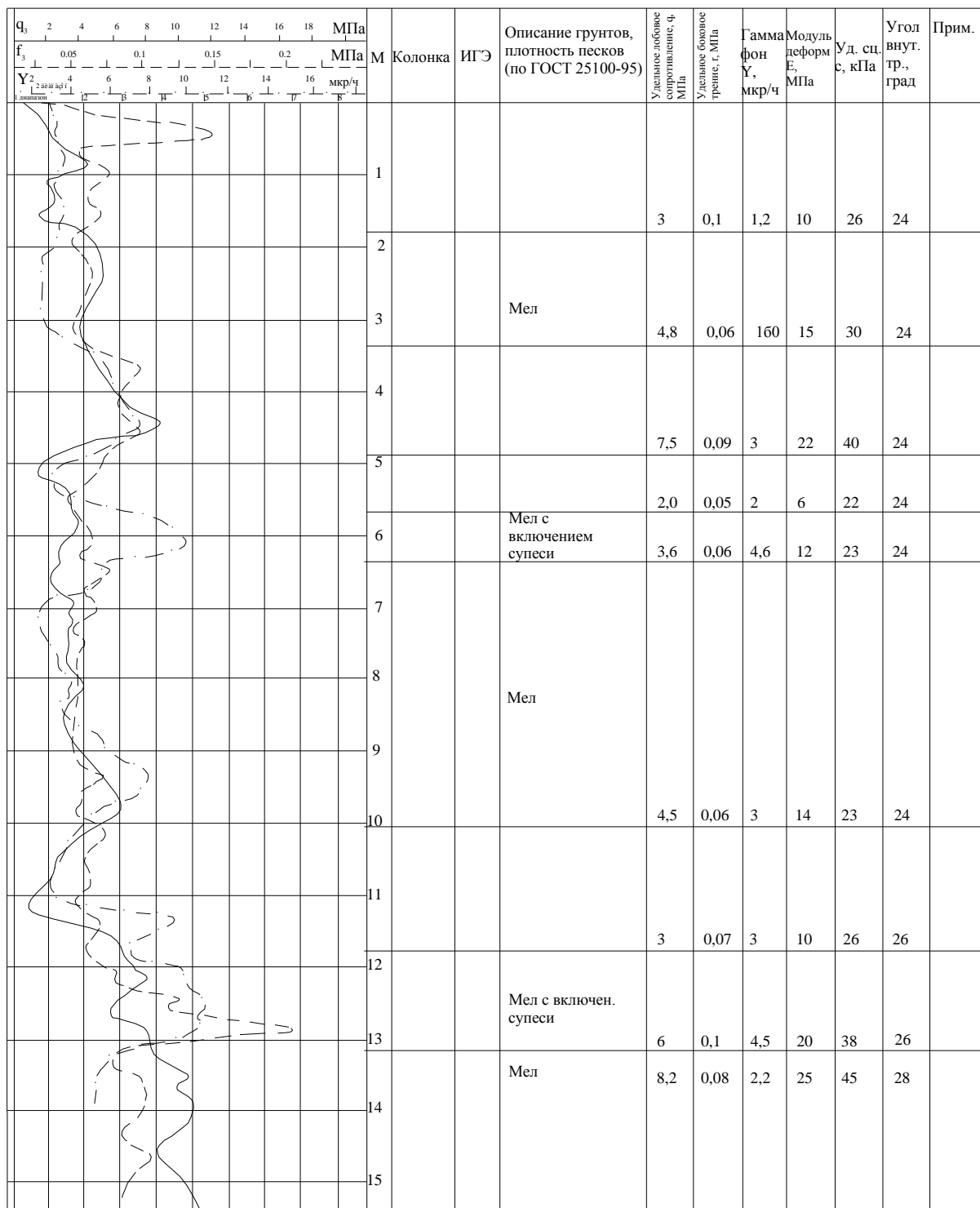


Рис. 3.25, г. Колонка зондирования мелового отвала Стойленского ГОКа станцией СПК – Т (ТПК № 17)

вый Лог». Уточнены значения приведенного коэффициента сжимаемости намывных отложений и коэффициента консолидации для различных зон намывных массивов (пляжной, промежуточной и ядерной – 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 $\varphi \approx 8 \div 14^\circ$; $C \approx 0,14 \div 0,23$ кг/см²; $\varepsilon_0 \approx 0,64 \div 1,1$; $a > 0,05$ см²/кг; $\tau < 2,5$ кг/см²) и решаемые гидрогеомеханические задачи по их дальнейшему использованию вполне применимы для условий и технологии строительства берегозащитных сооружений в дельте р. Меконг.

ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА ПЕНЕТРАЦИОННОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

4.1. Анализ способов инженерной защиты прибрежных территорий

Как уже упоминалось (раздел 1 гл.1) дельта реки Меконг площадью около 70 тыс.км² находится в одной из самых густонаселенных провинций Вьетнама – Кантхо. Периодически затопляемая в результате летне-осеннего дождливого периода территория дельты из-за изменения климата рискует в ближайшие годы стать постоянно затопленной.

Кроме непрогнозируемых экологических последствий эта обширная территория практически уже сейчас выведена из сферы народнохозяйственного использования в ДРВ. Поэтому принято решение об инженерной защите затопленных площадей [76].

Анализ опыта инженерной защиты береговой линии прибрежных и пойменных территорий позволяет выделить три основных вида инженерной подготовки [67,75-78]:

1) Гидромеханизированный намыв неразмываемого пляжа на тех участках берега, где происходит разрушение вследствие течения реки или волнового или приливного воздействия водохранилищ и морей. Каменная наброска или свайное закрепление берегов имеют меньшее распространение и применяются в основном в тех случаях, когда необходимо обеспечить глубину акватории.

2) Гидромеханизированный намыв территории до незатопляемых отметок. Такая технология наиболее часто применяется с целью создания площадей для гражданского и промышленного строительства, а также при освоении нефтегазовых месторождений в заболоченных районах. Гидромеханизированная инженерная подготовка площадей для строительства нашла широкое применение во второй половине XX века в СССР. Были намыты большие площади под жилое строительство в г.Киеве (м/р «Русановка»), г.Уфе (м/р «Сипайлово» и м/р «Затон Восточный»), г.г. Ленинграде, Новосибирске и т.д.

Освоение нефтегазовых месторождений Западной Сибири практически все производилось с намытых площадей – площадки под кусты скважин, технологические тропы, основания под жилые поселки, аэродромы, энергетические комплексы и т.п., реализованные трестом «Трансгидромеханизация».

3) Строительство защитных дамб и создание польдерных систем. Польдерная система (или польдер) – комплекс инженерных сооружений, состоящий из осушительной сети, оградительных дамб и устройств для сброса воды. Большую часть Нидерландов защищают польдеры, которые предупреждают постоянное или периодическое затопление около 65 % территории страны.

Примером создания польдеров является фрагмент проекта инженерной защиты Приволжско-Квасниковской отмели, который был разработан трестом «Энергогидромеханизация» совместно с кафедрой геологии МГИ в 1992 г. (рис. 4.1). Система польдеров также была реализована этим трестом в 70-80 гг. прошлого века в северо-восточной части Башкирии в предполагаемой зоне затопления Нижнекамской ГЭС.

Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки и выбирается исходя из задач дальнейшего использования территорий. Намыв до незатопляемых отметок и создание пляжных зон требует больших объемов работ и наличие песчаных или песчано-гравийных месторождений непосредственно в зоне работ. Кроме того, намывные территории непригодны для сельскохозяйственного использования без дополнительной дорогостоящей подготовки.

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 польдеров для защиты от наводнений и размыва (разрушения) прибрежных территорий.

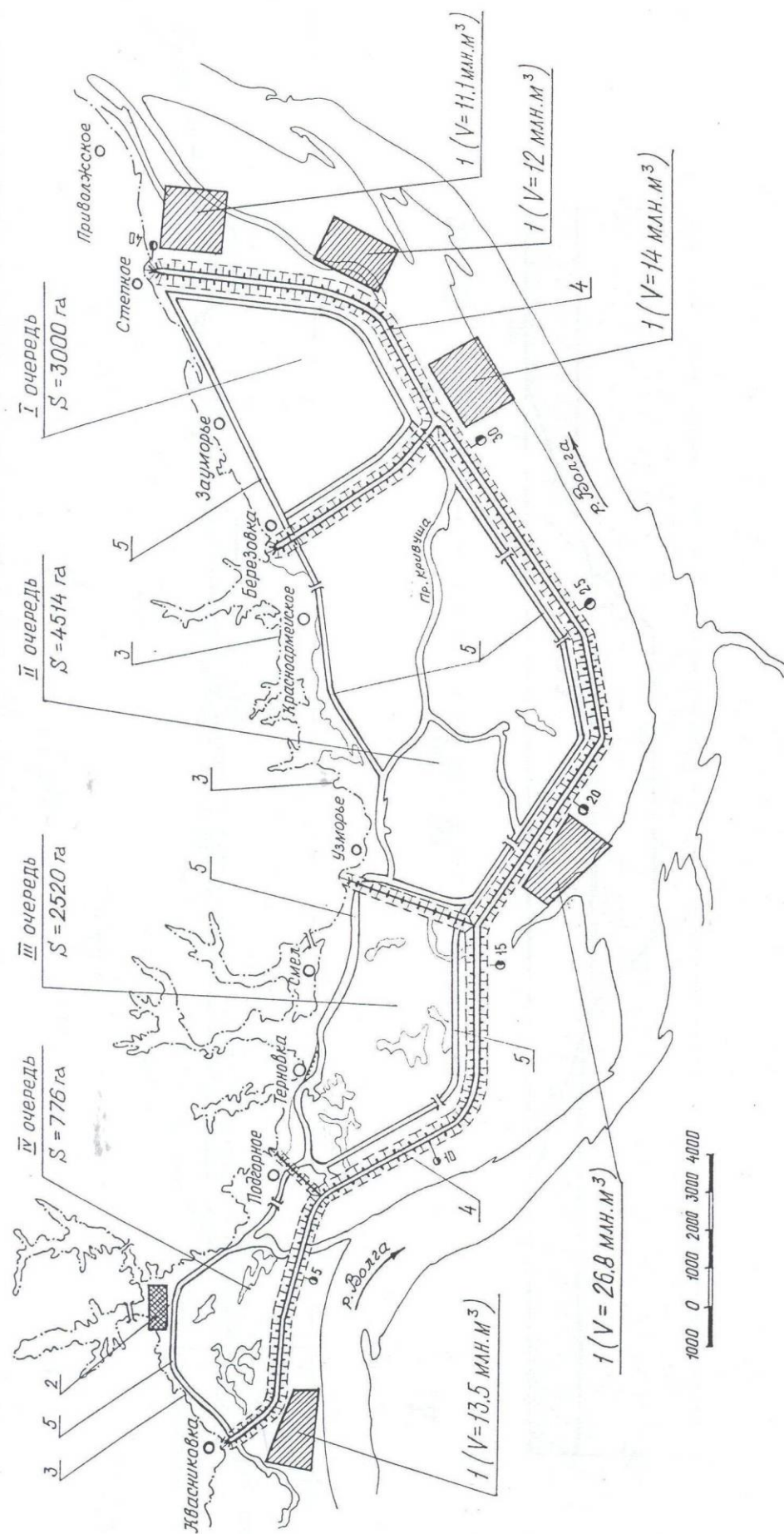


Рис. 4.1. Система инженерной защиты Приволжско-Красниковской отдели. 1 – карьеры гидромеханизации (объемы разрабатываемого грунта); 2 – резервный штабель грунта; 3 – граница зоны затопления; 4 – дамб инженерной защиты; 5 – дренажный канал.

4.2. Пенетрационный каротаж исследуемой территории в дельте реки Меконг

Река Меконг в своей дельте имеет множество рукавов, многие из которых носят самостоятельные названия (рис.4.2).



Рис. 4.2. Район исследований дельты реки Меконг

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), обусловили необходимость разработки комбинированного способа инженерной защиты затопляемых площадей и берегов Меконга.

Колебания уровня также изменяют физико-механические свойств 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. 4.3).



Рис. 4.3. Принципиальная схема берегозащитных сооружений

Такая конструкция предусматривает пригрузку слабого основания дренирующей песчаной подушкой для предварительного уплотнения водонасыщенных глинистых пород. Мощность пористого штампа определяется по методикам апробированным на намывных объектах КМА и Кузбасса, и рассчитывается исходя из прочностных и деформационных свойств, полученных при пенетрационном каротаже непосредственно перед началом строительства.

Возведение берегозащитных сооружений может осуществляться как путем отсыпки привозимых авто или речным транспортом пород, так и гидромеханизированным способом.

При гидравлической укладке грунта с устройством дренажа площадку для намыва слоя высотой 2 – 3 м рассчитывают на работу в течение года. Затем в пределах площадки выделяют 4 – 6 примерно одинаковых карт намыва. При этом на каждой из карт должен вестись намыв в течение 2 или 3 месяцев, пока высота слоя не достигнет проектной отметки. Через месяц после намыва первой карты у сбросных выпусков дамба обвалования ликвидируется для обеспечения непосредственного выхода фильтрующей воды к главной коллекторной канаве. Затем на карте намыва устраивают сеть дренажных

каналов. После консолидации намывного грунта (примерно через год) намыв на карте возобновляют и заканчивают по достижении заданной отметки.

Тонкодисперсные отложения в основании защитной дамбы имеют высокий коэффициент сжимаемости ($a > 0,1 \text{ см}^2/\text{кг}$), низкую несущую способность и низкие прочностные свойства и по этим и остальным показателям свойств могут быть соотнесены с намывными отложениями гидроотвалов (гл. 1 и 2).

Строительство столь ответственного и долговременного комплекса защитных сооружений должно обосновываться достоверными инженерно-геологическими изысканиями [7, 28, 53, 79-87].

Состав и объем инженерно-геологических изысканий зависит от сложности геологического строения и гидрогеологических условий, степени изученности района, стадии проектирования, характера взаимодействия сооружения с грунтами основания [7, 18, 88, 89].

Анализ изложенного в предыдущих главах опыта инженерно-геологических исследований техногенных массивов и слабых оснований позволяет для дельты реки Меконг рекомендовать как наиболее универсальный, оперативный и достоверный – пенетрационный каротаж [76].

Метод пенетрационного каротажа (ПК) пригоден для изучения механических свойств и состояния преимущественно тонкодисперсных отложений как нарушенной (отвалыные массы), так и ненарушенной (естественные основания) структуры. Использование метода ПК позволяет определить модуль деформации грунтов (через сопротивление пенетрации q_z), плотность-влажность, сопротивление сдвигу (для крыльчатых зондов), степень уплотнения намывных (насыпных) слоев и их оснований [39, 90-93].

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.4.4).



Рис. 4.4. Местоположение участка пробного зондирования

Участок для опытного зондирования был выбран исходя из условий доступности и возможности проезда зондировочной установки в один из самых сухих месяцев года – в мае. Участок расположен на расстоянии 3,1 км юго-западнее поселка Тан Трунг на правом берегу одного из рукавов Меконга реки Вамнао (рис.4.4). Он представляет довольно пологую поверхность и использовался для выращивания риса. Для проезда буровой техники к точкам зондирования была отсыпана опорная тропа из щебенистых отходов строительства толщиной до 0,4 м и шириной около 3÷3,5 м.

Инженерно-геологическое опробование слабых породных массивов производят по заранее разбитым профилям – основным и вспомогательным. Густота сети опробования и расстояние между пунктами зондирования определяется сложностью и изменчивостью исследуемого массива. Ключевые скважины располагают на профиле главного направления изменчивости и производят определение основных водно-физических и физико-механических свойств [6, 45, 75, 94, 95-98].

В дополнительных зондировочных скважинах определяют сопротивле-

ния пенетрации, поровое давление и сопротивление вращательному срезу. С помощью эпюры порового давления определяют степень уплотнения обследуемого слоя и изменение по глубине сопротивления сдвигу в эффективных напряжениях. На различных этапах формирования берегозащитной дамбы может возникать необходимость получения дополнительной информации о состоянии нагружаемых отложений для оценки параметров и темпа наращивания польдерных сооружений или использования их территорий для других целей.

Для пробного зондирования была использована установка УГБ-50 (на базе ГАЗ-66), оборудованная через переходник зондом МГГУ-ДИГЭС.

Общий вид опытного полигона представлен на рис.4.5. Участок зондирования размерами 100х25 м содержал два створа I-I и II-II по 3 зондировочных пункта каждый. Всего было пройдено 6 зондировочных скважин, максимальная глубина зондирования составляла 15 м (скв.2).

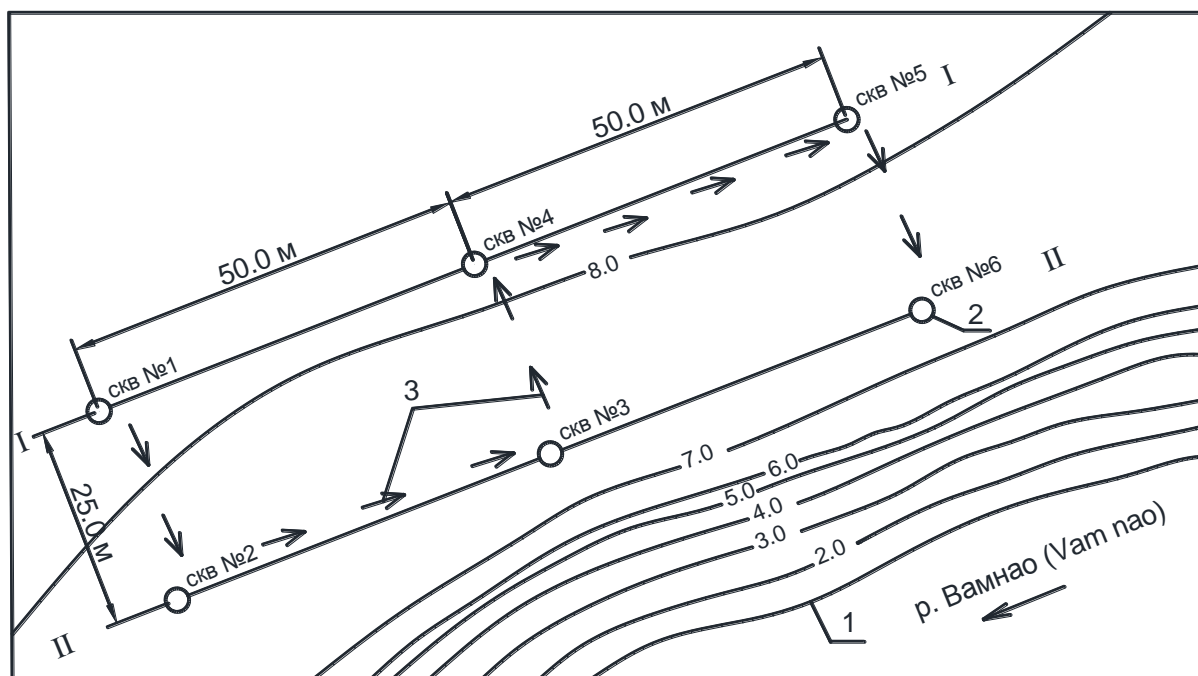


Рис. 4.5. Схема расположения зондировочных скважин: 1 – урез воды; 2 – точки зондирования; 3 – направление движения пенетрационной установки

Зондирование в точке с.3 выполнить по полной программе не удалось, так как на глубине 4,5 м зонд наткнулся на какое-то твердое включение в теле массива и во избежание поломки зонда работы пришлось прервать. Усилие задавливания определялось по аппаратуре, установленной на УГБ-50.

Соппротивление срезу определялось динамометром на растяжение после растормаживания бурового става. Боковое трение штанг определялось после среза грунта холостым прокручиванием в одну и другую стороны. Срезное усилие определялось как разность между общим усилием среза и трением бурового става:

$$\tau_c = \tau_{\text{общ}} - \tau_{\text{бок}}. \quad (4.1)$$

Колонки зондирования представлены на рис.4.6.

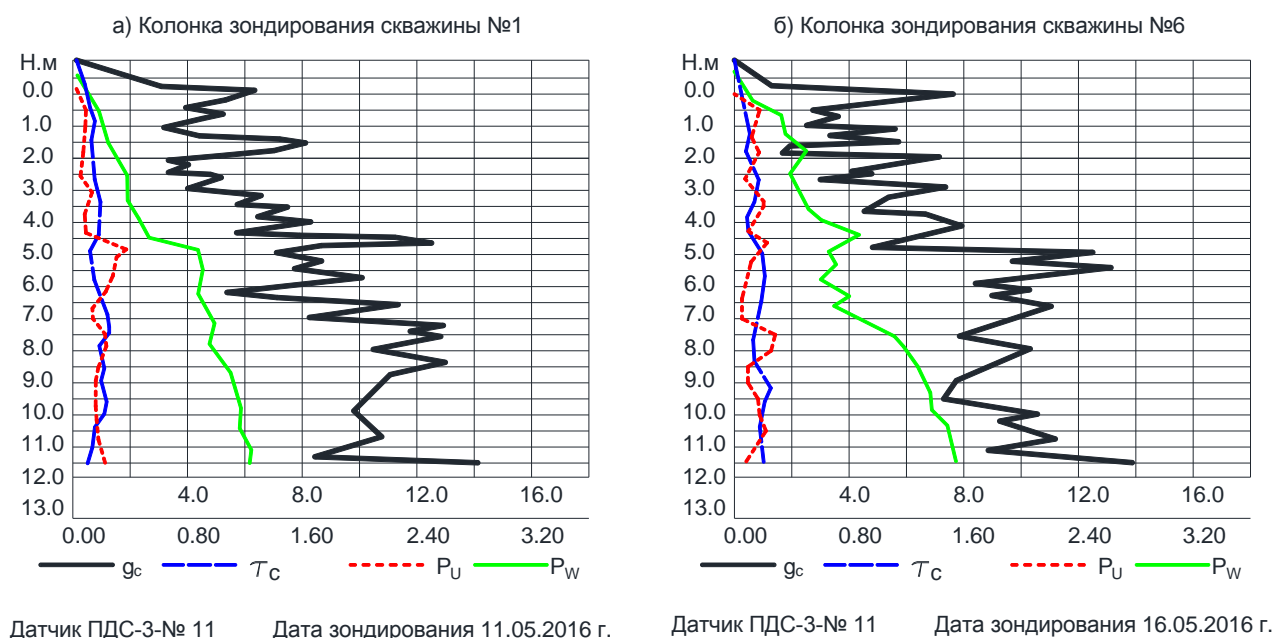


Рис.4.6. Колонки зондирования основания берегозащитной дамбы дельты реки Меконг: q_c - сопротивление пенетрации; t – сопротивление сдвигу (вращательному срезу); P_u – избыточное поровое давление; P_w – общее давление

При перестройке полученного при крыльчатом зондировании графика $\tau = f(\sigma)$ в эффективных напряжениях были получены следующие средние прочностные характеристики для неуплотненных пород основания: $\varphi_{cp} \approx 12^\circ$; $C \approx 1,1 \text{ т/м}^2$.

4.3. Использование результатов ПК для расчетов устойчивости и обоснования конструкции берегозащитной дамбы

Комплекс берегозащитных сооружений должен обладать следующими основными свойствами – иметь достаточную высоту, обеспечивающую предотвращение перелива воды при максимальных подъемах уровня, и устойчивость в течение всего периода эксплуатации.

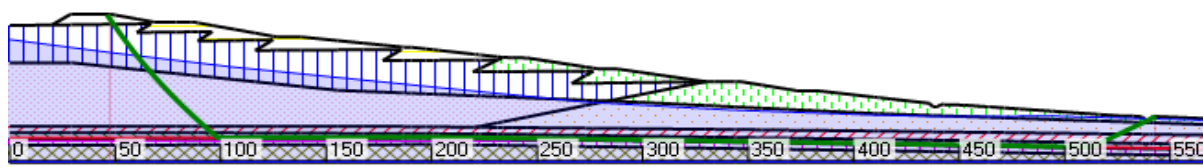
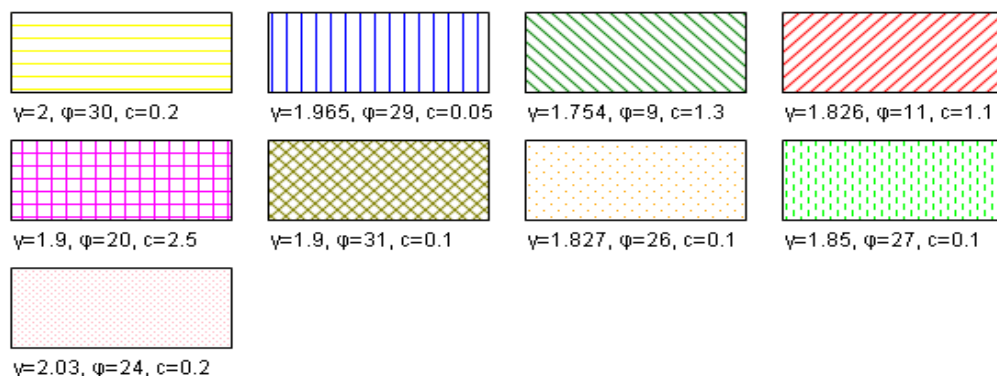
В Московском горном институте разработана программа оперативного определения коэффициента запаса устойчивости η в зависимости от измеренного давления воды, приведенного к вероятным поверхностям скольжения. Расчет устойчивости выполняется методами алгебраического суммирования и многоугольника сил. Определение текущего коэффициента запаса устойчивости производится в зависимости от площади эпюры давления воды, определяемой путем снятия замеров величин P_w или h_w по вероятной поверхности скольжения [6, 47,98].

Программа была апробирована практически на всех намывных горнотехнических сооружениях КМА и Кузбасса, а также на других объектах горнодобывающей и строительной промышленности в России и за рубежом. Она также использовалась при обратных расчетах некоторых оползней и нарушений устойчивости с получением результатов практически стопроцентной сходимости (разница в пределах $1\div 3\%$).

Разработанная гидрогеомеханическая схема с использованием разработанной программы расчета устойчивости эффективно применяется в настоящее время на горнорудных карьерах КМА. Ниже приводятся данные по расчету и контролю устойчивости головной плотины (упорной призмы) хвостохранилища Стойленского ГОКа (рис. 4.7).

По результатам фактически замеренных величин порового давления и положения депрессионной поверхности в откосе выполняется расчет коэффициента запаса устойчивости откоса на ЭВМ на базе разработанной гидрогеомеханической схемы, охарактеризованной соответствующими для данного этапа эксплуатации сооружения строением, геометрическими параметрами и показателями физико-механических свойств (рис. 4.7).

Название откоса: Головная плотина 29.01.18



Устойчивость по методу алгебраического суммирования:

$$\eta = 1,56817$$

Устойчивость по методу многоугольника сил:

$$\eta = 1,58036$$

Левый край: 46,1662

Правый край: 543,3367

Высота откоса: 55,76566

Рис. 4.7. Расчет устойчивости головной плотины СГОКа по автоматизированному профилю № 3

Эти методы были использованы при расчете устойчивости дамбы гидрозащиты на реки Меконг (рис. 4.3).

Институтом ВСЕГИНГЕО разработана беспроводная система дистанционного контроля «Орфей – 1», которая внедрена кафедрой геологии МГГУ в 2013 г. на Стойленском ГОКе. Данная система устанавливается в каждую скважину, где находится датчик порового давления. Даталоггер «Орфей – 1» осуществляет считывание, обработку, хранение и передачу показаний

датчиков с аналоговыми выходами. В зависимости от выбранного режима работы даталоггер позволяет организовать автоматизированную систему как непрерывного, так и периодического мониторинга. При непрерывном мониторинге даталоггер в режиме реального времени передает показания датчиков в базу данных системы мониторинга. Обмен с удаленным сервером происходит по одному интерфейсу – беспроводному GSMGPRS. Для резервного питания даталоггера используется внутренний источник питания [6, 31].

Беспроводная система «Орфей – 1» может быть использована при организации гидрогеомеханического мониторинга дамб в дельте реки Меконг.

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_n свидетельствуют о правомерности использования одномерной задачи фильтрационной консолидации при нагружении первоначально песчаной подушкой, а затем – дамбой (рис. 4.8). Следовательно, необходимо рассматривать такую ситуацию как известную задачу – уплотнение слоя конечной мощности под действием равномерно распределенной (полосовой) нагрузки. Рассмотренный и проанализированный опыт полевых исследований (гл. 3) позволяет в условиях дельты р. Меконг использовать методику, схемы и оборудование, применяемые при зондировании оснований сухих отвалов и дамб хвостохранилищ и гидроотвалов на объектах России.

Уплотняющее действие от песчаной подушки и дамбы оказывает упрочняющее действие на породы основания, повышая значения сцепления C и угла внутреннего трения φ до значений, полученных в результате консолидировано-дренированных испытаний (табл. 1.3).

Изменение водно-физических и прочностных характеристик на этапе формирования и эксплуатации гидротехнического сооружения является основными объектами гидрогеомеханического мониторинга, которые могут быть получены экспериментальным опытным путем в результате ПК, что

позволит безаварийно эксплуатировать данную ГТС.

ПК является достоверным и быстрым способом получения информации о изменении свойств массива польдерной системы и прилегающих к ней территорий.

ПК на разных этапах формирования плотины позволил обосновать оптимальные параметры польдерной системы (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. Варианты задаваемых свойств при моделировании условий приведены в табл. 4.1-4.3. В таблицах плотность пород γ задавалась в т/м³; угол внутреннего трения ϕ в градусах; сцепление C в т/м². Пример расчета приведен на рис. 4.8.

Таблица 4.1

Зависимость коэффициента запаса устойчивости (η) дамбы в дельте реки Меконг от свойств пород основания

| Зависимость η от плотности породы | | | | Зависимость η от угла внутреннего трения породы | | | | Зависимость η от сцепления породы | | | |
|---|--------|-----|---------|---|--------|-----|---------|---|--------|------|---------|
| γ | ϕ | c | η | γ | ϕ | c | η | γ | ϕ | c | η |
| 1,4 | 14 | 1,3 | 1,23824 | 1,6 | 12 | 1,3 | 1,24433 | 1,6 | 14 | 1,1 | 1,23341 |
| 1,45 | 14 | 1,3 | 1,25739 | 1,6 | 12,5 | 1,3 | 1,25897 | 1,6 | 14 | 1,15 | 1,25377 |
| 1,5 | 14 | 1,3 | 1,27655 | 1,6 | 13 | 1,3 | 1,27355 | 1,6 | 14 | 1,2 | 1,27414 |
| 1,55 | 14 | 1,3 | 1,29570 | 1,6 | 13,5 | 1,3 | 1,29935 | 1,6 | 14 | 1,25 | 1,29450 |
| 1,6 | 14 | 1,3 | 1,31486 | 1,6 | 14 | 1,3 | 1,31486 | 1,6 | 14 | 1,3 | 1,31486 |
| 1,65 | 14 | 1,3 | 1,33396 | 1,6 | 14,5 | 1,3 | 1,33197 | 1,6 | 14 | 1,35 | 1,33515 |
| 1,7 | 14 | 1,3 | 1,35291 | 1,6 | 15 | 1,3 | 1,35770 | 1,6 | 14 | 1,4 | 1,35528 |
| 1,75 | 14 | 1,3 | 1,37186 | 1,6 | 15,5 | 1,3 | 1,37645 | 1,6 | 14 | 1,45 | 1,37542 |
| 1,8 | 14 | 1,3 | 1,39081 | 1,6 | 16 | 1,3 | 1,39493 | 1,6 | 14 | 1,5 | 1,39555 |

Таблица 4.2

Зависимость коэффициента запаса устойчивости (η) дамбы в дельте реки Меконг от свойств пород песчаной подушки

| Зависимость η . от плотности породы | | | | Зависимость η . от угла внутреннего трения породы | | | | Зависимость η . от сцепления породы | | | |
|--|--------|------|---------|--|--------|------|---------|--|--------|------|---------|
| γ | ϕ | c | η | γ | ϕ | c | η | γ | ϕ | c | η |
| 1,62 | 32 | 0,05 | 1,32068 | 1,82 | 30 | 0,05 | 1,31062 | 1,82 | 32 | | |
| 1,67 | 32 | 0,05 | 1,31925 | 1,82 | 30,5 | 0,05 | 1,31167 | 1,82 | 32 | | |
| 1,72 | 32 | 0,05 | 1,31782 | 1,82 | 31 | 0,05 | 1,31272 | 1,82 | 32 | | |
| 1,77 | 32 | 0,05 | 1,31640 | 1,82 | 31,5 | 0,05 | 1,31379 | 1,82 | 32 | 0 | 1,31349 |
| 1,82 | 32 | 0,05 | 1,31486 | 1,82 | 32 | 0,05 | 1,31486 | 1,82 | 32 | 0,05 | 1,31486 |
| 1,87 | 32 | 0,05 | 1,31334 | 1,82 | 32,5 | 0,05 | 1,31595 | 1,82 | 32 | 0,1 | 1,31349 |
| 1,92 | 32 | 0,05 | 1,31183 | 1,82 | 33 | 0,05 | 1,31705 | 1,82 | 32 | 0,15 | 1,31761 |
| 1,97 | 32 | 0,05 | 1,31033 | 1,82 | 33,5 | 0,05 | 1,31816 | 1,82 | 32 | 0,2 | 1,31899 |
| 2,02 | 32 | 0,05 | 1,30885 | 1,82 | 34 | 0,05 | 1,31929 | 1,82 | 32 | 0,25 | 1,32036 |

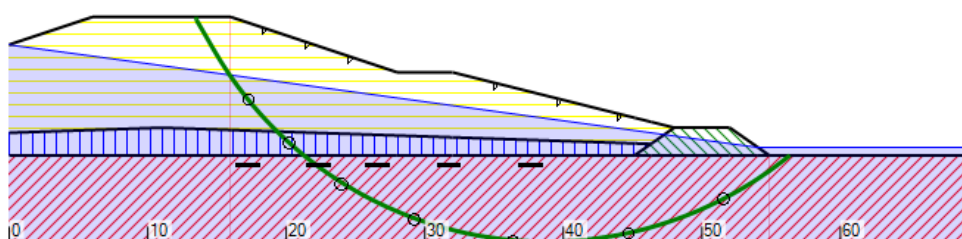
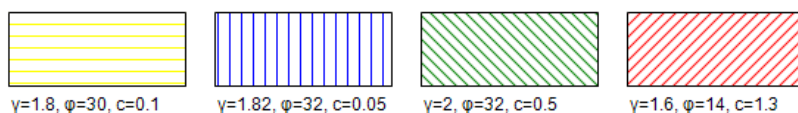
Таблица 4.3

Зависимость коэффициента запаса устойчивости (η) дамбы в дельте реки Меконг от свойств материала дамбы

| Зависимость η . от плотности породы | | | | Зависимость η . от угла внутреннего трения породы | | | | Зависимость η . от сцепления породы | | | |
|--|--------|-----|---------|--|--------|-----|---------|--|--------|------|---------|
| γ | ϕ | c | η | γ | ϕ | c | η | γ | ϕ | c | η |
| 1,6 | 30 | 0,1 | 1,37863 | 1,8 | 28 | 0,1 | 1,30643 | 1,8 | 30 | | |
| 1,65 | 30 | 0,1 | 1,36136 | 1,8 | 28,5 | 0,1 | 1,30864 | 1,8 | 30 | | |
| 1,7 | 30 | 0,1 | 1,34506 | 1,8 | 29 | 0,1 | 1,31072 | 1,8 | 30 | 0 | 1,30745 |
| 1,75 | 30 | 0,1 | 1,32962 | 1,8 | 29,5 | 0,1 | 1,31277 | 1,8 | 30 | 0,05 | 1,31073 |
| 1,8 | 30 | 0,1 | 1,31486 | 1,8 | 30 | 0,1 | 1,31486 | 1,8 | 30 | 0,1 | 1,31486 |
| 1,85 | 30 | 0,1 | 1,30085 | 1,8 | 30,5 | 0,1 | 1,31700 | 1,8 | 30 | 0,15 | 1,31885 |
| 1,9 | 30 | 0,1 | 1,28754 | 1,8 | 31 | 0,1 | 1,31917 | 1,8 | 30 | 0,2 | 1,32293 |
| 1,95 | 30 | 0,1 | 1,27487 | 1,8 | 31,5 | 0,1 | 1,32140 | 1,8 | 30 | 0,25 | 1,32709 |
| 2,0 | 30 | 0,1 | 1,26280 | 1,8 | 32 | 0,1 | 1,32277 | 1,8 | 30 | 0,3 | 1,34212 |

Анализируя данные таблиц можно сделать вывод, что основное влияние на устойчивость дамбы оказывают прочностные характеристики пород основания, поэтому применение пенетрационно-каротажного метода на этапах формирования польдерных систем, для определения свойств и состояния глинистых пород оснований в дельте реки Меконг является необходимым для обоснования геометрических параметров дамб.

Название откоса: Дамба ДРМ



Устойчивость по методу алгебраического суммирования:

$\eta = 1,18404$

Устойчивость по методу многоугольника сил:

$\eta = 1,20167$

Левый край: 13,5

Правый край: 56,3562

Высота откоса: 9,999999

| | |
|---|---------------------------|
| ▽ | реперы |
| ○ | датчики порового давления |
| — | грунтовые датчики |

Рис. 4.8. Схема расчета устойчивости дамбы гидрозащиты дамбы (ДРМ) и рекомендуемые средства гидрогеомеханического мониторинга

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.4.9; 4.10). Граничные (минимальные) значения прочностных свойств водонасыщенных глинистых пород основания дамб составляет: $\varphi_{гр} = 13^{\circ}40'$; $C = 1,27 \text{ т/м}^2$ (0,127 КПа). Полученные при пенетрационном каротаже значения C и φ должны служить основой для расчета параметров пригружающей песчаной подушки, уплотняющей водонасыщенное глинистое основание до необходимых значений степени уплотнения.

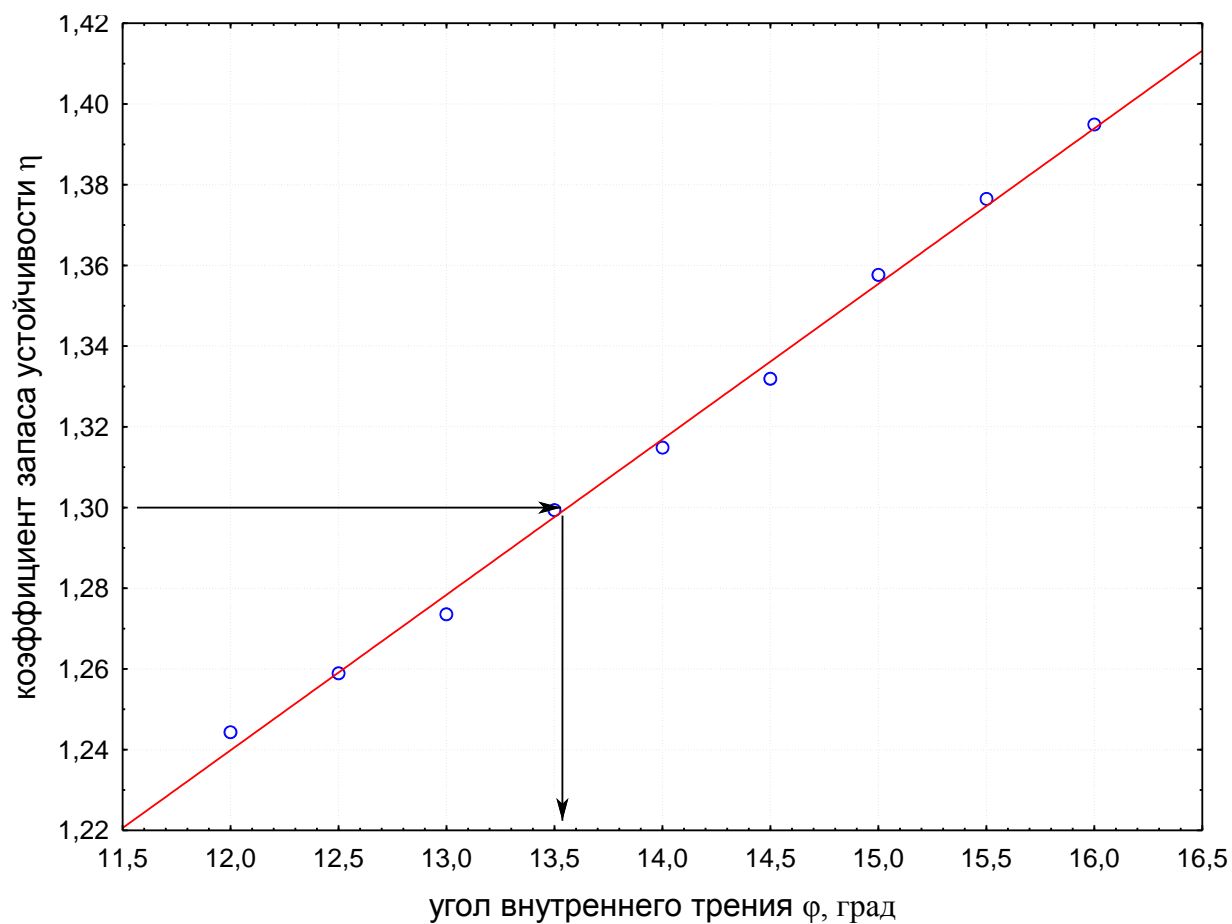


Рис.4.9. График зависимости коэффициента запаса устойчивости от угла внутреннего трения пород основания

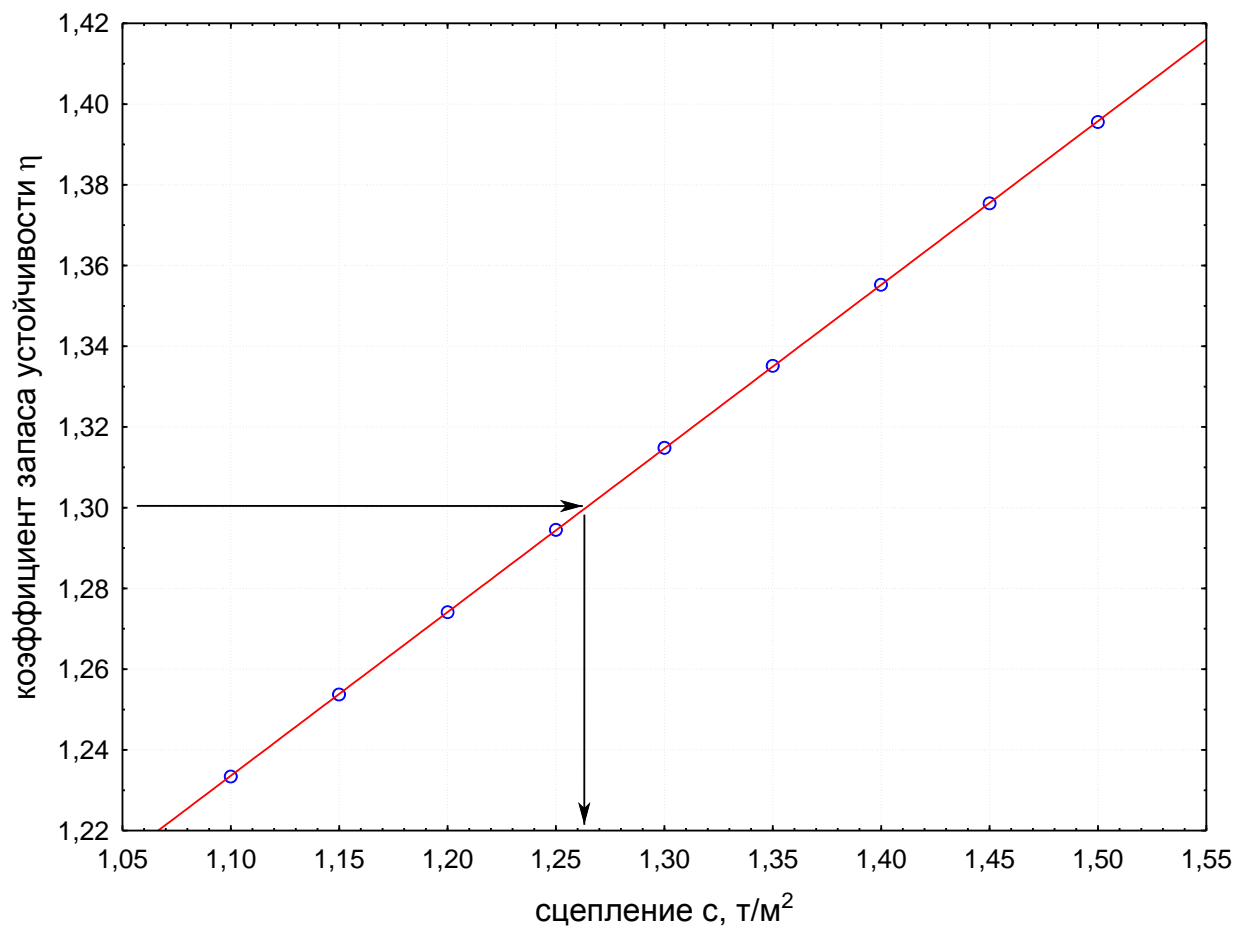


Рис.4.10. График зависимости коэффициента запаса устойчивости от сцепления пород основания

Параметры дамбы были обоснованы по данным расчета устойчивости, со свойствами пород полученных в результате пенетрационного-каротажных изысканий в дельте реки Меконг с учетом уплотнения песчаной подушкой $h = 2$ м. Достоверность полученных результатов подтверждается проведенными лабораторными испытаниями материала дамб и основания. На рис.4.11 представлены расчетные геометрические параметры берегозащитной дамбы, обеспечивающие ее долговременную устойчивость.

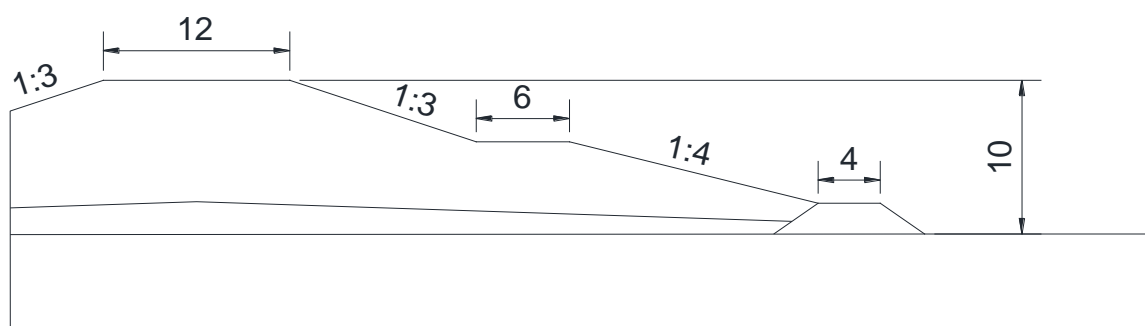


Рис.4.11. Схема польдерной системы в дельте реки Меконг с рекомендуемыми параметрами полученными в результате расчета устойчивости по свойствам пород, определенным в результате пенетрационного каротажа

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 (рис.4.8).

4.4. Рекомендации по мониторингу системы берегозащитных сооружений

В качестве основных средств мониторинга рассматриваются: 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. Комплексы натурных исследований, их состав, цели и используемые способы, средства и аппаратура подробно рассмотрены в работах [7, 18, 19, 21, 99 – 106].

Основные задачи гидрогеомеханического контроля были сформулированы В.А.Мироненко и в дальнейшем получили развитие в исследованиях МГИ-МГГУ, ВНИМИ, ВИОГЕМ, ВСЕГИНГЕО и т.д., результаты которых отображены в работах [85 – 87, 94, 98, 100, 104 – 106]:

Для уточнения свойств и состояния глинистых прибрежных отложений целесообразно использовать буровые машины (типа УГБ-50) с установленным на буровом стае (через переходное устройство) зондом МГГУ-ДИГЭС (Патенты РФ № 1624093 и № 2025559) (рис. 4.12).

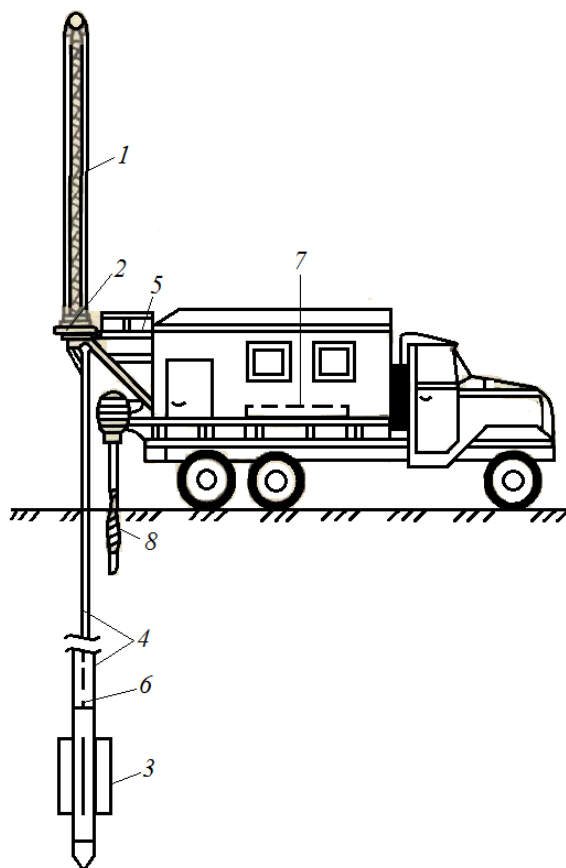


Рис. 4. 12. Схема комплексного зондирования водонасыщенных грунтов

В связи с тем, что коэффициент вероятности t зависит от количества испытаний n , необходимое число испытаний получается итерационным способом.

Для реального диапазона значений коэффициента вариации ($V=10\div 20\%$) и заданной точности $\varepsilon_u=5\div 7\%$ число испытаний каждого однородного слоя меняется от 10 до 50. Число испытаний при каждом нормальном напряжении (глубине) является частным от деления общего числа испытаний на число ступеней нормальных нагрузок (интервалов зондирования). С учетом вышеизложенного общее число натурных испытаний (методами вращательного среза или прессиометрическим) принимались при одной глубине зондирования $n\geq 4$, а число испытаний на консолидацию, трехосное сжатие или плоскостной срез в заданном режиме (неконсолидированно-недренированные или консолидировано-недренированные испытания) при постоянном нормальном напряжении принималось $n\leq 4$ [31, 56 – 58, 81, 90, 92, 93].

На основе полевых и лабораторных работ получают исходные данные для инженерно-геологической схематизации системы «дамба-основание» как объединяющего элемента геологического разреза объекта и его механическим описанием (расчетной моделью).

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 и 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) [108]. При этом для установления роли отдельных факторов, определения расчетных параметров и законов изучаемых процессов следует использовать решения обратных геомеханических задач.

При контроле устойчивости внешних откосов и внутренних зон польдеров используется система датчиков-пьезодинамометров, заложенных по возможным поверхностям скольжения. В раздельно-зернистых грунтах

датчики служат для определения гидростатического давления, в тонкодисперсных грунтах - общего давления воды в порах.

Предложенная система натурного контроля грунтовых и техногенных массивов предусматривает использование стационарной сети датчиков общего и порового давления.

Решение задачи уплотнения при нагружении «отдыхе» слоя и естественного глинистого основания целесообразно использовать для интерпретации данные аэрофотограмметрического дистанционного контроля за осадками.

Аэрофотограмметрический способ контроля включает в себя:

- составление проекта работ;
- дистанционное маркирование территории контролируемого массива специальными маркировочными знаками;
- аэрофотосъемку;
- составление проекта фототриангуляционной сети;
- вычисление отметок Δh узлов сетки по данным двух съемок за контролируемый период.

Аэрофотограмметрический дистанционный контроль имеет следующие преимущества: съемка практически любых участков, недоступных другим методам наблюдений, быстрая фиксация состояния сооружения; практически отсутствие мертвых зон; высокая скорость выполнения отдельных серий наблюдений в любое время года и независимость их выполнения от технологических особенностей производства горных работ, высокая разрешающая способность современной аэрофотоаппаратуры [99, 107].

Для контроля за состоянием труднодоступных зон контролируемого массива рекомендуется способ дистанционного определения несущей способности массива по данным аэрофотограмметрической съемки, в соответствии с которым допустимая нагрузка $P_{\text{доп}}$ определяется в зависимости от относительной осадки массива $\Delta h/h$ [74, 99]. Такие инструментальные наблюдения были апробированы институтом ВИОГЕМ на гидроотвале «Березовый Лог» с использованием метода аналитической фототриангуляции,

позволяющего определять координаты точек недоступных участков бесконтактным способом. Аэрофотосъемки производились в моменты начала и окончания перерыва t_0 в намыве («отдыха» гидроотвала) [6, 8, 74]. Результаты аэрофотосъемки с помощью вертолетов КА-25 показали достаточную сходимость с данными наземной съемки и расчетами.

Эталонные зависимости $P_{\text{доп}} = f[\Delta h(t_0)/h]$ устанавливались с использованием решения задачи уплотнения намывного слоя в период его «отдыха» t_0 , из которого определяется степень уплотнения слоя $U = \psi(t_0)$. Через степень уплотнения по эмпирическим зависимостям определялись характеристики сопротивления сдвигу c и ϕ . С использованием формулы Прандтля-Рейснера по значениям $c(U)$ и $\phi(U)$ определялась предельная критическая нагрузка на намывное основание $P_{\text{пр}}^{\text{кр}}$, а затем $P_{\text{доп}} = P_{\text{пр}}^{\text{кр}} / \eta$ [11, 19, 30, 54].

Достоверная информация о состоянии слабых водонасыщенных массивов в основании дамб в дельте р.Меконг для прогноза во времени их деформаций и несущей способности может быть получена в результате зондирования намывных грунтов с применением комбинированных зондов МГГУ-ДИГЭС.

Геомеханические расчеты по полученным в результате зондирования данным должны подтверждаться результатами маркшейдерских измерений осадок нагружаемых массивов.

Эффективным средством для получения геолого-маркшейдерской информации является применение аэрофотограмметрических методов, которые дают возможность оперативного определения несущей способности и контроля уплотнения массивов.

Выводы

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 защиты от наводнений и размыва (разрушения) прибрежных территорий.

Опытное зондирование участка под берегозащитной дамбой показало сходимость полученных при пенетрационном каротаже результатов с лабораторными исследованиями пород.

При проведении исследований глинистых отложений в дельте реки Меконг методом ПК глубина зондирования составляет около 15 м. Становится возможным определить характеристики сопротивления сдвигу и модули деформации различных разновидностей глин, что позволит оценить устойчивость природных склонов и несущую способность оснований различных сооружений.

Полученные при пенетрационном каротаже данные о прочностных свойствах пород позволили обосновать параметры берегозащитных сооружений дельты реки Меконг, обеспечивающие долговременную и безопасную эксплуатацию комплекса.

В качестве рекомендуемых средств мониторинга системы дамбо-основание в дельте р.Меконг предлагаются: дрон (беспилотный летательный аппарат для аэрофотограмметрической съемки); буровая машина с зондом для статической пенетрации конструкции МГГУ-ДИГЭС; реперы для наземной съемки откосов песчаной дамбы; стационарные датчики-пьезодинамометры, для оперативного контроля устойчивости в сочетании с беспроводной системой дистанционного контроля «Орфей-1».

Полученные зависимости $\eta = f(C, \varphi)$ позволили обосновать граничные (минимальные значения прочностных свойств глинистых пород основания, обеспечивающих устойчивость берегозащитной системы, которые составляют – угол внутреннего трения $\varphi_{гр} = 13^{\circ}40'$, сцепление $C \geq 0,127$ КПа.

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.

Список литературы

1. Lê Xuân Thuyền. Một số đặc điểm phân bố khoáng vật sét ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. Phân viên địa lý, TP Hồ Chí Minh, 2015. - 17 trang.
2. Nguyễn Quốc Dũng, Đỗ Minh Toàn. Đặc tính địa chất công trình của đất bùn sét pha chứa hữu cơ phân bố ở Kiên Giang và biện pháp cải tạo chúng bằng xi măng kết hợp với vôi. Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi số 15- 2013. - 6 trang.
3. Đỗ Minh Toàn, Nguyễn Thị Nụ. Nghiên cứu đặc tính địa chất công trình của đất loại sét yếu thuộc trầm tích Holocen trung - thượng phân bố ở đồng bằng sông Cửu Long phục vụ xây dựng đường. Trường Đại học Mở - Địa chất, Đông Ngạc, Từ Liêm, Hà Nội, 2013. - 14 trang.
4. Nguyễn Thị Nụ. Nghiên cứu đặc tính địa chất công trình của đất loại sét yếu amQ_{II}^{2-3} phân bố ở các tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long phục vụ xử lý nền đường. Luận án tiến sĩ Địa chất, Hà Nội, 2014. - 145 trang.
5. Nguyễn Minh Quang. Sạt lở ở ĐBSCL: Thực trạng, nguyên nhân và biện pháp ứng phó. Bảo vệ rừng và môi trường - Trung ương Hội KHKT LN Việt Nam, 2017. - 8 trang.
6. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Кириченко Ю.В., Киянец А.В., Крючков А.В., Круподеров В.С., Мосейкин В.В., Жариков В.П., Семенов В.В., Х. Клапперих, Н. Тамашкович, Х. Чешлок. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях: Монография. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 336 с.
7. Гальперин А.М. Управление состоянием намывных массивов на горных предприятиях. М.: Недра, 1988. – 199 с.
8. Гальперин. А.М., Дьячков Ю.Н. Гидромеханизированные природоохранные технологии. - М.: Недра, 1993. – 256 с.
9. Нурок Г.А., Лутовинов А.Г., Шерстюков А.Д. Гидроотвалы на карьерах. М., «Недра», 1997. - 311 с.

10. Леоненко И.Н., Русинович И.А., Чайкин С.И и др. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской Магнитной Аномалии. - М.: Недра, Т I – III, 1969. – 319 с.
11. Гальперин А. М. Геомеханика открытых горных работ. Высшее горное образование. М.: Изд-во МГГУ. 2003. - С. 103 – 186.
12. Galperin A.M, Zaytsev V.S, Norvatov Yu.A. Hydrogeology and Engineering Geology. Balkema publ. Rotterdam/ Brookfield, 1993. - 367 p.
13. Galperin A.M., Shcherbakova E.P., Lisejew E.P. Dur perspektivischen Natrung von industriellen Absetzanlagen in der Region der Kuzker Magnet Anomalie. Veroffentlichung IFET TUFBA Heft 2004. – 1. – s. 295 – 305.
14. Геология месторождения угля и горючих сланцев СССР. Энциклопедия в 12-ти томах. – М.: Недра, 1973. - 259 с.
15. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Карасев М.А., Фоменко Н.Г. Геомеханическое обоснование отсыпки отвалов «сухих» пород на гидроотвалах // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. - 2015. - № 2. – С. 128 - 132.
16. Гальперин А.М. Оценка устойчивости отвалов в условиях нестабилизированного состояния водонасыщенных породных масс. Кандидатская диссертация, МИРГЭМ, 1965. – 181 с.
17. Гальперин А.М., Панюков П.Н. Исследование устойчивости карьерных отвалов в сложных инженерно-геологических условиях КМА. //Отчет МГИ по теме ТО-I-293. - 1969.
18. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. - Л. ВНИМИ. 1989.
19. Рекомендации по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов сухих пород, отсыпаемых на гидроотвалах. - Л., изд. ВНИМИ, 1985. - 81 с.

20. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений подлежащих разработке открытым способом. - Л., Недра, 1986. – 122 с.
21. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Жданов С.Е., Яковчук С.А. Инженерно-геологическое и геомеханическое обоснование литомониторинга намывных массивов на железорудных карьерах КМА. Отчет МГИ по теме ТО-4-83. - 1988.
22. Нурок Г.А., Марченко С.М., Медников Н.Н., Гальперин А.М. Эффективность гидравлического складирования полускальных пород на разрезах Кузбасса. - М., Изд. ЦНИЭИУголь, 1974. – 26 с.
23. Лапочкин Б.К. Инженерно-геологическая оценка намывных глинистых грунтов для увеличения емкости гидроотвалов. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук. - МГУ, 1978. – 20 с.
24. Федосеев А.И. Инженерно-геологическое обоснование частичной ликвидации гидроотвалов вскрышных пород. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. - МГГУ, 2006. – 20 с.
25. Клейменов Р.Г. Комплексный мониторинг техногенных грунтовых массивов гидроотвалов угольных разрезов. Автореферат дисс. на соискание уч. ст. к. т. н. - Кемерово, Куз ГТУ, 2011. – 20 с.
26. Гальперин А.М., Шафаренко Е.М. Реологические расчеты горно-технических сооружений. М.: Недра, 1977. - 246 с.
27. Осипов. В. И. Экология и рыночная экономика // Экономические стратегии. – 2016. - № 8. – С. 6 – 13.
28. Крячко О. Ю. Управление отвалами открытых горных работ. - М., Недра, 1980. - 255 с.
29. Гальперин А.М., Зайцев В.С. Инженерно-геологическое обоснование мероприятий по охране водно-земельных ресурсов ТПК КМА при возведении перспективных намывных горнотехнических сооружений. Отчет МГИ по теме ТО-4-45. - 1987.

30. Дергилев М.А., Бабай В.Я., Минеев В.И., Тэн В.Н. Инженерно-геологическое обоснование возможности и экономическая оценка эффективности строительства промышленных сооружений на отвалах предприятий КМА // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Изд-во МГГУ, 1999. - № 5. - С. 93 – 96.
31. Гальперин А.М., Пуневский С.А., Бородина Ю.В., Буй Куок Зунг. Развитие технических средств и способов гидрогеомеханического мониторинга отвальных сооружений. - «Маркшейдерия и Недропользование», 2015. - № 3 (77). - С 22 – 30.
32. Гальперин А.М., Мосейкин В.В., Кутепов Ю.И. Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Геомеханическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ. –М.: VIII Международная научно-практическая конференция, сборник научных трудов. - 2017. - С 302 – 309.
33. ГОСТ 25260-82. Породы горные. Методы полевого испытания пенетрационным каротажем.
34. ГОСТ 20276-2012. Методы вращательного среза – С. 17 – 19.
35. Патент РФ № 1649035. Устройство для комплексного зондирования водонасыщенных грунтов. 21.07.1993. Авт.: Гальперин А.М., Зайцев В.С. и др.
36. Патент РФ № 2025559. Устройство для комплексного зондирования грунтов. 30.12.1994 Авт.: Гальперин. А.М., Зайцев В.С., Кириченко Ю.В. и др.
37. Гальперин А.М. Устройство для комплексного зондирования водонасыщенных грунтов. //А.С. № 1174525, СССР. Бюлл. изобр. № 31. - 1985.
38. Круподеров В.С., Титянин В.А.. Пенетрационный каротаж при инженерно-геологических исследованиях // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Изд-во МГГУ . – 2007. - № 1. - С 113 - 116

39. Грязнов Т.А. Оценка показателей свойств пород полевыми методами - М.: Недра, 1984, 197 с.
40. Лебедев В.И., Ильичев В.В., Шевцов К.П., Индюков А.Т. Полевые методы инженерно-геологических изысканий. – М.: Недра, 1988. – С.142
41. Болдырев В.Г. Испытания грунтов методами пенетрации. Ч. I // Инженерные изыскания. – М.: 2010. - № 11. - С. 22 – 30.
42. Болдырев В.Г. Испытания грунтов методами пенетрации. Ч. II // Инженерные изыскания. – М.: 2010. - № 12. - С. 30 – 42.
43. Буй Куок Зунг. Перспективы развития комплексного зондирования на горных предприятиях // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2016. - № 11. - С 365 – 372.
44. Galperin A. M. Using of Man-Made Massives in Russian Mining (Engineering-Geological Aspects). Proc. of XXII IAEG Congress, Vol. 6. Engineering Geology for Society and Territory, Torino, Italy. – 2014. - p.1057 – 1062.
45. Ферронский В.И., Грязнов Т.А. Пенетрационный каротаж. - М., Недра, 1979. - 335 с.
46. Аноров Н. Н., Гальперин А. М. Аппаратура для измерения порового давления и возможности ее применения в горнотехнической практике. //Научные труды МИРГЭМ. Сборник 50. –М., 1964. - С. 200 – 206.
47. Вайнштейн В.Г., Гальперин А.М. Щигровский фосфоритный рудник. //Горный журнал, № 2, 1961 г. - С. 10 – 12.
48. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Дьячков Ю.Н. Способ возведения намывного основания. //А.С. № 1624093, СССР. Бюлл. изобр. №4. - 1991.
49. Гальперин А.М., Зайцев В.С. Устройство для комплексного зондирования водонасыщенных грунтов. //А.С. № 1649035, СССР. Бюлл. изобр. № 18. - 1991.
50. Каширский В.И. Зарубежный опыт статического зондирования // Инженерные изыскания. – М.: 2009. - № 8. - С. 28 – 36.

51. Аналитическая служба журнала «Инженерные изыскания». Статическое зондирование: тенденции и перспективы // Инженерные изыскания. – М.: 2010. - № 6. - С. 58 – 61.

52. Захаров М.С. Статическое зондирование в инженерных изысканиях. Учебное пособие для студентов специальностей 270102 – промышленное и гражданское строительство, 270205 – автомобильные дороги и аэродромы, 270201 – мосты и транспортные тоннели. - Санкт-Петербург, 2007. - 71 с.

53. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений. - М., Стройиздат, 1986. – 391 с.

54. Абелев М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. - М., Стройиздат, 1983. - 248 с.

55. ГОСТ 20522-2012. Методы статической обработки результатов испытаний.

56. Породы горные метод полевого испытания пенетрационным каротажном. ГОСТ 25260 – 82. ОКП 03 2001. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17 мая 1982 г. № 1949 срок действия установлен с 01. 07. 1983 г. до 01. 07. 1988 г.

57. Грунты методы полевых испытаний на срез в скважинах и в массиве. ГОСТ 21719 – 80. В замен ГОСТ 21719 – 76. Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 23 мая 1980 г. № 74 срок введения установлен с 01. 01. 1981 г.

58. Грунты метод полевого испытания статическим зондированием. ГОСТ 20069 – 81. Взамен ГОСТ 20069 – 74. Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 31. 12. 1980г. № 222 срок введения установлен с 01. 01. 1982 г.

59. Цытович Н.А. Механика грунтов. - М.: «Высшая школа», 1983. - 288 с.

60. Цытович Н.А., Зарецкий Ю.К., Малышев М.В. и др. Прогноз скорости осадок оснований сооружений. - М.: изд. лит. по строительству. - 239 с.
61. Флорин В.А. Основы механики грунтов. - М., 1959, 1961, т. I и II.
62. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: «Недра», 1965. - 378 с.
63. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основа гидрогеомеханики. - М.: «Недра», 1974. - 296 с.
64. Matschak H., Leibiger H. Die Bodenmechanischtechnologischen Einflussfaktoren der Böschungsverflachung bei Mischbodenkippen und ihre Verhütungsmassnahmen. "Bergbautechnik", 1963. - N 10. – p.509-516
65. Scheffner H. Zur Frage der Ermittlung der Schubfestigkeit bindiger Kippenmischböden. "Bergbautechnik", 1970. - N 12. - p. 633-638
66. Matschak H. Porenwasserüberdruckmessungen unter fortschreitende Tagebaukippen zur Untersuchung der Liegendgrundbrüche. "Bergbautechnik", 1960. - N 7. - P. 335-346.
67. Гальперин А.М., Дьячков Ю.Н. Состояние и перспективы природоохранной технологии при гидромеханизации открытых горных работ. //Тезисы докл. Всес.н-т. конф. «Технология и техника открытых горных разработок при извлечении полезных ископаемых». - Изд. МГИ, 1988. – С.67-69
68. Гальперин А.М. Инженерно-геологическое обеспечение открытых горных работ на основе литомониторинга. //Сб.статей «Горная наука и промышленность». - М. Недра, 1989. – с.73-78.
69. Гальперин А.М. Управление состоянием массива. Изд. МГИ, 1985. – 80 с.
70. Павленко В.М. Оценка влияния гидровскрышных работ на эффективность дренирования карьерных полей в сложных гидрогеологических условиях. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. - МГИ, 1982. – 20 с.

71. Galperin A.M., Kiritchenko Yu.V., Moseikin V.V., Pavlenko V.M. Proc. Eight Int. Congr. Int. Acc. for Eng. Geology and the Environment. Vancouver / Canada, 1998. Engineering-geological provision for reclamation of hydrofilled structures in mining.

72. Саркисян А.А. Обоснование методов и технических средств геолого-маркшейдерского мониторинга гидроотвалов. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. - МГИ, 1998. – 20 с.

73. Соколов В.Н., Лапочкин Б.К. Инженерно-геологические особенности намывных грунтов гидроотвалов Кузбасса. – Инженерная геология, 1979. - № 5. - с. 57 – 65.

74. Кириченко Ю.В. Управление состоянием массивов гидроотвалов для эффективного использования намывных территорий /Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М.: МГИ, 1983, 151 с.

75. Кириченко Ю.В. Инженерно-геологическое обеспечение экологической безопасности формирования техногенных массивов / Дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. – М.: МГГУ, 2001. - 379 с.

76. Буй Куок Зунг. Обоснование применения метода пенетрационного каротажа для исследования свойств и состояния глинистых пород оснований защитных сооружений в дельте реки Меконг. ГИАБ № 2. Спец. выпуск 8. М.: Изд-во «Горная книга», 2018. - 12 с.

77. Martin I. H., Suckling A. C. Geotechnical investigations for Mount Pleasant Airfield, Falkland Islands, using the Flow Through Sampler – “Ground Engineering”, 1984. - 17, N 8. – p.15 – 19.

78. Липский И.В. Разработка гидромеханизированных природоохран-ных технологий для горнотехнической и строительной практики. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М.: МГГУ, 2000. - 176 с.

79. W. Förster- Mechanische Eigenschaften der Lockergesteine. Stuttgart; Leipzig: Teubner, Studienbücher: Bauwesen. – 1996. - 228 s.

80. W.Förster. Bodenmechanik. Stuttgart; Leipzig: Teubner, Studienbücher: Bauwesen. – 1998. - 385 s.

81. Строительные нормы и правила СНиП II-3-79. Строительная теплотехника. Срок введения в действие 1 июля 1979 г.

82. Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für das Bauen auf bindigen Mischbodenkippen der Braunkohlentagebaue in Mitteldeutschen Revier. LMBV, 1999. Textteil – 150 s, Anlageteil – 53 s.

83. Jennrich C. Dynamik von Setzungsfließbrutschungen und Bildung von Schwallwellen. Veröffentlichungen des IFGT. Heft 99-3. Freiberg, 1999.

84. Vogt A., Förster W. Abschätzen der Ruckgriffweite von Setzungsfließbrutschungen. Neue Bergbautechnik, 21)1991- 10/11.

85. Large dams in Chile. Chilean Nation Committee on the Large Dams. Santiago-Chile – 1996.

86. Monitoring of tailings dams. ICOLD. Bul. 104. Paris, 1996, 96 p.

87. Penman A.D.M. The need for dam safety. Case studies on tailings management. ICME-UNEP. Paris. – 1998. – P. 5–6.

88. A guide to tailings dams and impoundments. ICOLD. UNEP. – Bul. 106. – Paris. - 1996, 124 p.

89. Tailings dams: risk of dangerous occurrences. ICOLD.UNEP/ - Bul. 121. – Paris. – 2001. - 144 p.

90. Титянин В.А., Панфилов А.Ю., Пуневский С.А. Результаты пенетрационного-каротажа техногенных отложений и слабых оснований на объектах гидроотвально-хвостового хозяйства. // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2008. - №9. – С. 133 – 140.

91. R. Azzam. Einsatzmöglichkeiten der Elektrokinetik zur Lösung geotechnischer und umweltrelevanter Aufgabenstellungen. 2001. Mitt. zur Ingenieurgeologie und Hydrogeologie. RWTH Aachen. – Heft 79. S. 279 – 298.

92. Селиванов Л.В. Применение пенетрационно-каротажных методов для изучения инженерно-геологических свойств донных морских и лиманных отложений. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. - Москва, Селиванов Л.В. Применение пенетрационно-каротажных методов для изучения инженерно-геологических

свойств донных морских и лиманных отложений. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. - Москва, ВСЕГИНГЕО. - 1988. – 193 с.

93. Разорёнов В.Ф. Пенетрационные испытания грунтов. – М.: Стройиздат, 1980. - 248 с.

94. Гальперин А.М., Панфилов А.Ю., Пуневский С.А. Гидрогеомеханический мониторинг намывных сооружений горных предприятий. //Гидротехническое строительство, 2011. - № 1. - С. 19 – 24.

95. Kay I.N., Parry R.H.G. Screw plate tests in a still clay. “Ground Engineering”, 1982. -, 15, N 6. – P.22- 30.

96. Galperin A.M., Moseikin V.V., Kutepov Yu.A., Derevyankin V.V. Assesment of state of water-saturated waste for the justifikation of engineering structure design at open pit mines. - Euroasien Mining., 2017. - 1(27). - P. 6 – 9.

97. Williamson J. R. G/ Deposition monitoring systems for tailings dams. Proc. of the Int. Symp. on Seismic and Env. aspects of Dams Design. Vol. I, Santiago. Chile. 1996. - P. 279 – 287.

98. Гальперин А.М. Гидрогеомеханические аспекты формирования и рекультивации техногенных массивов на горных предприятиях. //Сборник докладов конференции. Современные проблемы гидрогеологии и гидрогеомеханики. - Изд. СПбГУ, 2002. – С. 254 – 262.

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

100. Ильин А.И. Гальперин А.М., Стрельцов В.И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. - М.: Недра, 1985. - 248 с.

101. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. - Ленинград, ВНИМИ, 1987. - 126 с.

102. Методическое пособие по проектированию бортов карьеров и противооползневых мероприятиям в условиях месторождений КМА. //Ленинград, ВНИМИ, 1967. - 147 с.

103. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования параметров отвалов сухих пород, отсыпаемых на гидроотвалах. Ленинград, ВНИМИ, 1989. - Часть I, II. - 55с. и 56 с.

104. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. - Ленинград, ВНИМИ. 1970. - 187 с.

105. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. - Санкт-Петербург, ВНИМИ, 1988. - 208 с.

106. Сергина Е.В. Комплексный мониторинг состояния природно-технических систем открытой разработки угольных месторождений. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. - Санкт-Петербург, НМСУ «Горный», 2015. – 20 с.

107. Садов А.В. Аэрокосмические методы в инженерной геодинамике. - М., Недра, 1988. - 206 с.

108. Тюнина Н.В. Особенность применения метода инженерно-геологических аналогий при изысканиях на городских территориях на примере города Москвы. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. - М., РГГУ, 2008. – 20 с.