



COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES

INTERNATIONAL COMMISSION
ON LARGE DAMS

Бюллетень МКБП № 194 безопасность хвостохранилища

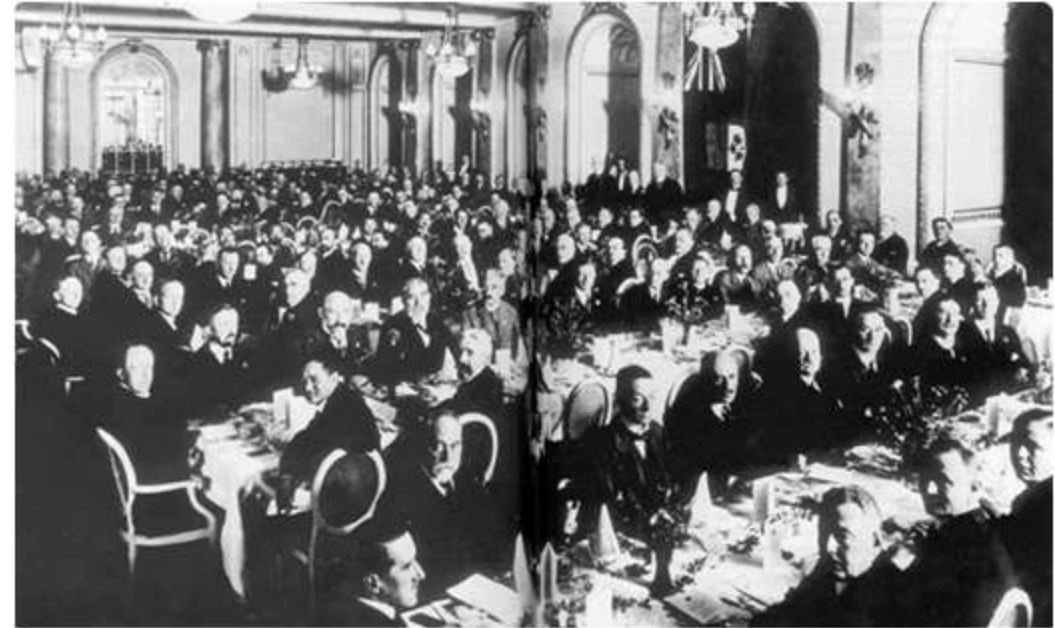
Энди Смолл, председатель комитета ICOLD по хвостохранилищам

Представитель:

ICOLD - Комитет L Хвостохранилища и лагуны для отходов

Кто/что такое МКБП

- Международная комиссия по крупным плотинам (Commission Internationale des Grands Barrages), основанная в 1928 году, является **международной неправительственной организацией**, занимающейся обменом **профессиональной информацией и знаниями** о проектировании, строительстве, обслуживании и воздействии крупных плотин.
- Национальные комитеты из **более чем 100 стран**, насчитывающие **около 10 000 индивидуальных членов**.
- Членами МКБП в основном являются практикующие инженеры, геологи и ученые из государственных или частных организаций, консалтинговых фирм, университетов, лабораторий и строительных компаний.
- МКБП является независимой профессиональной организацией.



Комитеты МКБП (29)

A	ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛОТИН (2020-23)
B	СЕЙСМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛОТИНЫ (2020-23 ГГ.)
C	ГИДРАВЛИКА ДЛЯ ПЛОТИН (2021-25)
D	БЕТОННЫЕ ПЛОТИНЫ (2021-24)
E	НАБЕРЕЖНЫЕ ПЛОТИНЫ (2020-23)
F	ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ С ПРОЦЕССОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОЕКТОВ (2014-22)
G	ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА (2020-22)
H	БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛОТИН (2021-24)
HWS	ИСТОРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОДЫ (Водное наследие)(2021-24)
I	ОБЩЕСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОКРУГ ПЛОТИН(2022-25)
J	СЕДИМЕНТАЦИЯ ВОДОЕМОВ (2020-23)
K	КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГЭС И ВОДОХРАНИЛИЩ(2015-23)
L	ХВОСТОХРАНИЛИЩА И ОТХОДНЫЕ ЛАГУНЫ (2020-23)
LE	ДАМБЫ (2018-2024)
M	ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ПЛОТИН(2020-23)
N	ОБЩЕСТВЕННАЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ И ОБРАЗОВАНИЕ (2021-24)
O	ВСЕМИРНЫЙ РЕГИСТР ПЛОТИН И ДОКУМЕНТАЦИИ(2021-24)
P	ПЛОТИНЫ ИЗ ЦЕМЕНТИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА(2020-25)
Q	НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ПЛОТИНОЙ(2017-22)
RE	ПЕРЕСЕЛЕНИЕ ИЗ-ЗА РЕЗЕРВУАРОВ (2021-2024)
S	ОЦЕНКА НАВОДНЕНИЙ И БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛОТИН (2020-24)
T	ПЕРСПЕКТИВЫ И НОВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПЛОТИН И ВОДОХРАНИЛИЩ В 21 ВЕКЕ (2020–2023 ГГ.) (Специальный комитет)
TRS	ТРОПИЧЕСКИЕ ОСТАТОЧНЫЕ ПОЧВЫ (2020-23)
U	УПРАВЛЕНИЕ ПЛОТИНАМИ И РЕЧНЫМИ БАССЕЙНАМИ (2021–2024 ГГ.)
V	ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ (2016-22)
X	ФИНАНСОВЫЙ И КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ комитет)
Y	ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМТА (2021-23)
Z	НАРАЩИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА И ПЛОТИН(2021-24)
ZX2	МОЛОДЫЕ ИНЖЕНЕРЫ

Бюллетени, связанные с хвостохранилищами

- № 45: Руководство по хвостохранилищам и отвалам (1982 г.)
- № 74: Руководство по безопасности хвостохранилищ (1989 г.)
- № 97: Дамбы хвостохранилища - Проект дренажа (1994 г.)
- № 98: Хвостохранилища и сейсмичность (1995 г.)
- № 101: Транспортировка, размещение и декантация хвостохранилищ (1995 г.)
- № 103: Хвостохранилища и окружающая среда (1996 г.)
- № 104: Мониторинг хвостохранилищ (1996 г.)
- № 106: Путеводитель по хвостохранилищам и водохранилищам (1996 г.)
- № 121: Риск опасных происшествий на хвостохранилищах. Уроки, извлеченные из практического опыта (2001 г.)
- № 135: Повышение безопасности дамбы хвостохранилища (2011 г.)
- № 153: Устойчивое проектирование и эффективность хвостохранилищ после закрытия (2013 г.)
- № 181: Обновление технологий (2021 г.)
- № 194: Текущая **бюллетень по безопасности хвостохранилищ**



Симпозиум МКБП 2019 (Оттава): МКБП - GISTM

Презентация Майкла Дэвиса, Теск





Доступно для членов МКБП

<https://www.icold-cigb.org/GB/publications/bulletins.asp>

COMMITTEE ON TAILINGS DAMS (2018-2022)

COMITE MATERIAUX POUR BARRAGES EN REMBLAI

BULLETIN WORKING GROUP

<i>Chairman</i> – Canada	H.N. MCLEOD (1)
<i>Vice Chairperson</i> – Sweden	A. BJELKEVIK
Australia	D. BRETT
Brazil	J. PIMENTA DE AVILA
Canada	A. SMALL (2)
Czech Republic	J. HERZA
South Africa	D. GRANT-STUART
United Kingdom	R. MONROY
United States	P.W. RIDLEN (3)
	T. ALEXEVIA (4)
Co-opted Member - Industry Representative	I. GILLANI

ADDITIONAL COMMITTEE MEMBERS

Chile	J. TRONCOSO
China	H. ZHOU
Democratic Republic of Congo	H. K. WA KITAMBO
Finland	H. NURMI
France	F. BROUSSET
Iran	M. ASKARI
Norway	Ø. TOGERSRUD
Romania	C. PRISCU
Russia	A. VAKULENKO
Slovakia	M. BAKES
Spain	F. SÁNCHO CARO
United Kingdom	R. MONROY
Zambia	P. KAMPENGELE

(1) Chairman until 2021
(2) Chairman since 2021

(3) Member since 2019
(4) Member until 2019

1.→INTRODUCTION

2.→TAILINGS STORAGE FACILITY GOVERNANCE

- 2.1. → Dam Safety Roles and Responsibilities
- 2.2. → Tailings Management System (TMS)
- 2.3. → Management of Change and Incident Reporting:
- 2.4. → Audits, Verifications and Reviews
- 2.5. → Documentation and Records

3.→CLOSURE

- 3.1. → Closure Design Principles
- 3.2. → Closure Phases
- 3.3. → Aspects of Sustainable Closure Design
- 3.4. → Landform Design

4.→DAM CONSEQUENCE CLASSIFICATION

- 4.1. → introduction
- 4.2. → Dam Consequence classification basis
- 4.3. → Dam Consequence Classification Categories

5.→SITE CHARACTERIZATION

- 5.1. → Introduction
- 5.2. → Social and Environmental Setting
- 5.3. → Physical Setting
- 5.4. → Climate and Hydrology
- 5.5. → Geological and Geotechnical Characterization
- 5.6. → Hydrogeology
- 5.7. → Seismicity

6.→TAILINGS CHARACTERIZATION

- 6.1. → Introduction
- 6.2. → Classification of Tailings
- 6.3. → Laboratory Testing and in situ Testing
- 6.4. → Geotechnical Properties

7.→DESIGN

- 7.1. → Introduction
- 7.2. → Life Phases and Design Stages of a Tailings Dam
- 7.3. → Design Steps for a New Tailings Dam
- 7.4. → Design of Raises and Ongoing Operations
- 7.5. → Risk Informed Design
- 7.6. → Dam Failure Modes
- 7.7. → Design Basis
- 7.8. → Design Criteria
- 7.9. → Slope Stability Assessment
- 7.10. → Earthquake Assessment (Seismic Stability)
- 7.11. → Seepage Design
- 7.12. → Hydrotechnical Design
- 7.13. → Environmental Design

8.→RISK MANAGEMENT

- 8.1. → Introduction
- 8.2. → Risk Assessment

8.3. → Preventative Controls and Monitoring Options

8.4. → Trigger Action Response Plans

8.5. → Monitoring

9.→DAM FAILURE/BREACH ANALYSIS

- 9.1. → Introduction
- 9.2. → Dam Breach Assessment
- 9.3. → Dam Breach Methodology

10.EMERGENCY PREPAREDNESS AND RESPONSE PLANNING

- 10.1.→Introduction
- 10.2.→EPRP Description
- 10.3.→Emergency Preparedness

11.→CONSTRUCTION

- 11.1.→Introduction
- 11.2.→Supervision and Documentation→
- 11.3.→Confirmation of Design Intent and Documentation of As-Constructed Conditions

12.→OPERATIONS

- 12.1.→Introduction
- 12.2.→Operations, Maintenance and Surveillance Manual
- 12.3.→Engineering Aspects of Operations

Appendix A: References, Definitions and

Appendix B: Shear Strength and Deformation Behavior

B.1 → Introduction

B.2 → Fundamental Concepts of Soil Behavior Under Shearing

B.2.1→Drained versus Undrained shearing conditions

B.2.2→Dilative versus Contractive Behavior

B.2.3→Strain-Hardening versus Strain-Softening

B.3 → CPT-Based Measurement of in situ State and soil properties

B.4 → liquefaction and liquefied shear Strength

B.4.1→Liquefaction

B.4.2→Post-Peak Shear Behavior

B.5 → Selection of Appropriate Shear Strength Parameters for Design and Analysis

B.6 → Special Considerations

B.6.1→Stress-dependent Behavior

B.6.2→Partial Saturation

B.6.3→Progressive failure

B.6.4→Strain incompatibility

B.6.5→Other Strain-Related Considerations.

B.6.6→Comments on Undrained strength ratio

B.7 → References

Appendix C: Stability Analysis Framework for Tailings Dams with Contractive Soils

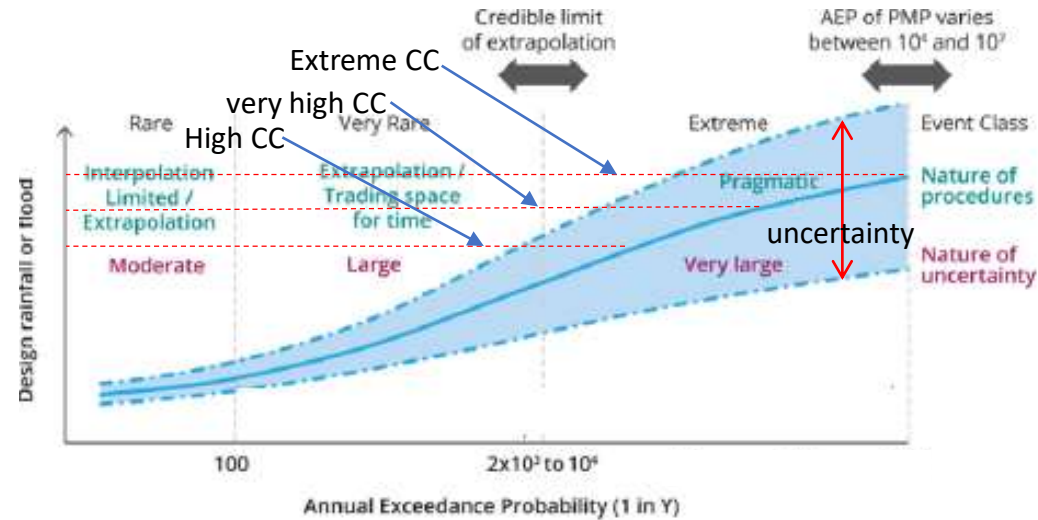
Классификация последствий

Похоже на GISTM



Классификация последствий прорыва плотин	Дополнительные потери				
	Население в группе риска ¹	Потенциальная потеря жизни ²	Окружающая среда ^{3,4}	Здоровье, ранение, Социальные и культурные	Инфраструктура и экономика ⁵
Низкий	нет	нет	Минимальная кратковременная потеря экологических ценностей. Воздействие на питьевую воду для домашнего скота/фауны не ожидается. Ограниченная площадь воздействия и возможность восстановления в краткосрочной перспективе.	Минимальные последствия и нарушение бизнеса и средств к существованию. Отсутствие измеримого воздействия на здоровье человека. Никакого нарушения наследия, отдыха, сообщества или культурных ценностей.	Низкие экономические потери: в районе имеется ограниченная инфраструктура или услуги.
Значительный	1-10	нет	Ограниченная потеря или ухудшение экологических ценностей. Потенциальное загрязнение системы водоснабжения домашнего скота/фауны. Умеренная площадь воздействия и возможность восстановления.	Ограниченные последствия и нарушение бизнеса и средств к существованию. Отсутствие измеримого воздействия на здоровье человека. Ограниченная потеря регионального наследия, мест отдыха, сообщества или культурных ценностей.	Потери рекреационным объектам, сезонным рабочим местам и малоиспользуемым транспортным путям. Умеренные экономические потери.
Высокий	10-100	1 - 10	Значительная потеря или ухудшение критических экологических показателей. Потенциальное загрязнение системы водоснабжения домашнего скота/фауны. Потенциальная площадь воздействия от 5 км ² до 20 км ² . Восстановление возможно в умеренные сроки.	Многие люди пострадали от перебоев в работе, обслуживании или социальной неустроенности. Значительная потеря регионального наследия, мест отдыха, сообщества или культурных ценностей. Потенциал некоторых краткосрочных последствий для здоровья человека.	Высокие экономические потери, влияющие на инфраструктуру общественного транспорта, коммерческие объекты или занятость. Умеренное переселение/компенсация сообществам. Потери.
Очень высокий	100-1000	10 to 100	Значительная потеря или ухудшение критических экологических ценностей, включая редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды, имеющие большое значение. Потенциальная площадь воздействия >20 км ² . Восстановление или компенсация возможны, но очень сложны и требуют от умеренного до длительного периода времени.	Большое количество людей, затронутых сбоями бизнеса, услуг или социальных потрясений в течение более одного года. Значительная потеря национального наследия, мест отдыха или общественных объектов или культурных ценностей. Значительные долгосрочные последствия для здоровья человека.	Очень высокие экономические потери, затрагивающие важную инфраструктуру или услуги (например, шоссе, промышленные объекты, хранилища опасных веществ) или занятость. Высокий уровень переселения/компенсации сообществам.
Экстремальный	> 1000	> 100	Катастрофическая утрата важнейших экологических ценностей, включая редкие и исчезающие виды, имеющие большое значение. - Очень большие области потенциального воздействия. Восстановление или компенсация в природе невозможна или требует очень длительного времени.	Большое количество людей, пострадавших от перебоев в работе, обслуживании или социальных потрясений в течение многих лет. Значительное национальное наследие или общественные объекты или культурные ценности уничтожены. Возможность серьезного и/или долгосрочного воздействия на здоровье человека.	Экстремальные экономические потери, влияющие на важнейшую инфраструктуру или службы (например, больницу, крупный промышленный комплекс, крупные хранилища опасных веществ или занятость. Очень высокие расходы на переселение/компенсацию сообществам и очень высокие затраты на социальную адаптацию.

Расчет паводков



Сейсмический расчет

Consequence Classification	Seismic Criteria ¹ Annual Exceedance Probability ² or Maximum Credible Ground Motion ³
	Operations and Active Care Closure
Low	1/200
Significant	1/1,000
High	1/2,475 ⁴
Very High	1/5,000 or 50 th percentile MCE ^{1,3}
Extreme	1/10,000 or 84 th Percentile MCE ^{1,3}

Notes:

- 1) The selection of the probabilistic or deterministic (scenario-based) design earthquake ground motions should consider the seismic setting and the reliability and applicability of each method.
- 2) The criteria associated with annual exceedance probabilities (AEP's) presented are guidance for suggested minimum criteria. Each facility should be assessed for the potential to increase the design criteria to further reduce risk.
- 3) MCE is based upon a deterministic seismic hazard assessment that considers a range of scenarios.
- 4) The selection of an AEP of 1/2475 as a minimum design earthquake for High Hazard is based on the typical design earthquake for buildings in certain building codes, the application of this value for dam safety in multiple countries, and its inclusion in the GISTM.

Таблица 7.2 Предлагаемые **минимальные** расчетные критерии паводка для этапов эксплуатации и активного лечения

Consequence Classification	Flood Criteria -- Annual Exceedance Probability (AEP) ¹
	Operations and Active Care Closure
Low	1/200
Significant	1/1,000
High	1/3 rd between the magnitude of the 1/1,000 flood and the PMF
Very High	2/3 rd between the magnitude of the 1/1,000 flood and the PMF
Extreme	PMF

Note: 1) The criteria presented is guidance for suggested minimum criteria.

Анализ стабильности

Состояние стабильности	Целевой минимальный фактор безопасности
Статические условия	1.5
Условия после сжижения	1.1

- Ключевой элемент оценки безопасности хвостохранилищ
- Чаще всего на основе значений фактора безопасности (FOS),
- рассчитанных с использованием анализа предельного равновесия (L-E).
- Этого достаточно, если ожидается, что материалы, из которых состоят фундамент и структурные зоны дамбы хвостохранилища, будут растягиваться во всем диапазоне условий эксплуатации в течение срока службы объекта (подробное обсуждение в Приложении А).
- Необходимо учитывать осушенные и неосушенные ситуации
- Необходимость оценки остаточной прочности после сейсморазведки для усадочных материалов (Приложение В)
- Минимальный FOS, исходя из передовой международной практики, был принят в отношении: характеристик площадки, выбора параметров и методологии проектирования.
- В качестве альтернативы анализ устойчивости может быть выполнен с использованием передовых численных моделей — анализа нелинейной деформации (NDA) на основе соотношений напряжение-деформация.

Хвостохранилища в Центральной Азии

- Таджикистан:
 - 13 Хвостохранилища
 - 10 активные
- Кыргызстан:
 - 56 Хвостохранилища
 - 13 активные
 - 50 старше 30 лет
- Узбекистан:
 - 16 Хвостохранилища
- Вверх по течению построены хвостохранилища?
- Правила предоставили ограниченное техническое руководство
- Бюллетень МКБП по безопасности дамбы хвостохранилища может дополнять местные правила



Анализ стабильности

- Дамбы хвостохранилища выше по течению должны быть проанализированы на предмет разжижения
- Присутствуют сейсмические и статические триггеры
- Закрытие - предположим, что может произойти разжижение
- Игнорирование стабильности разжижения -> небезопасно
- Аварии в Бразилии в 2015 и 2019 годах соответствовали правилам, но не учитывали стабильность сжижения.
- Стабильность МКБП подробно рассматривает это

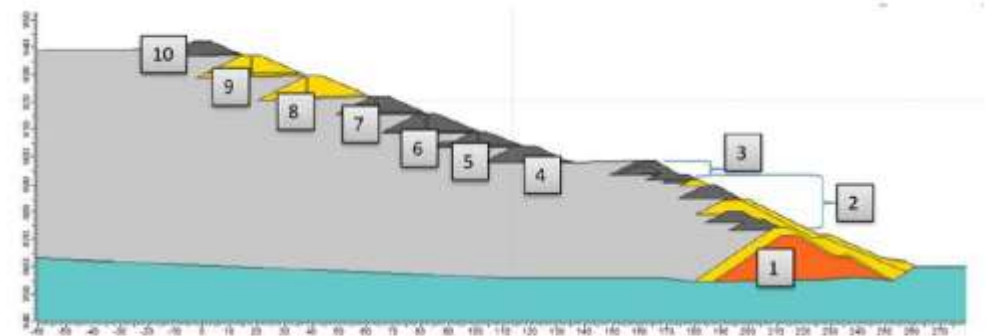


Figure 19: Dam I Cross-section, Showing Raisings and Stages of Construction⁸

Неудача Брумадиньо – 2019
Из панельного отчета

<https://youtu.be/QEduIBYY6Xw>

Заключение

- **ICOLD разработал комплексное руководство, охватывающее все аспекты безопасности хвостохранилищ.**
- **Руководство уделяет особое внимание техническим аспектам для поддержки других отраслевых инициатив.**
- **Особое внимание факторам и методам, влияющим на оценку стабильности**
- **Это вклад МКБП в устранение прорывов дамб хвостохранилищ, таких как Samarco и Brumadinho.**
- **Дополнять правила, а не заменять**

Спасибо за внимание

