



COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES

INTERNATIONAL COMMISSION
ON LARGE DAMS

Бюллетень МКБП № 194 безопасность хвостохранилища

Анна Бьелкевик, Консультанты по хвостохранилищам Scandinavia AB, Швеция

В качестве заместителя председателя, представляющего:

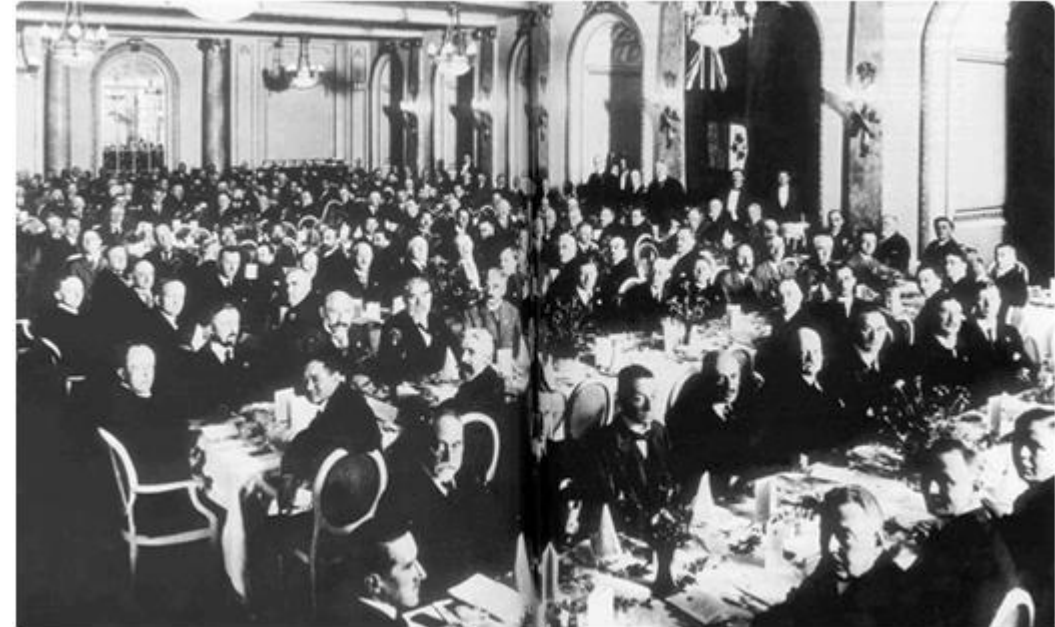
МКБП - Комитет L Хвостохранилища и лагуны для отходов

Цели

- Представить Международную комиссию по большим плотинам (МКБП) и ее работы, связанные с хвостохранилищами
- Предыстория того, почему хвостохранилища важны - прорывы
- Обзор того, как отреагировал мир
- Обзор бюллетеня МКБП 194 и наиболее важных посылов

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.



Комитет L Хвостохранилища и лагуны для отходов

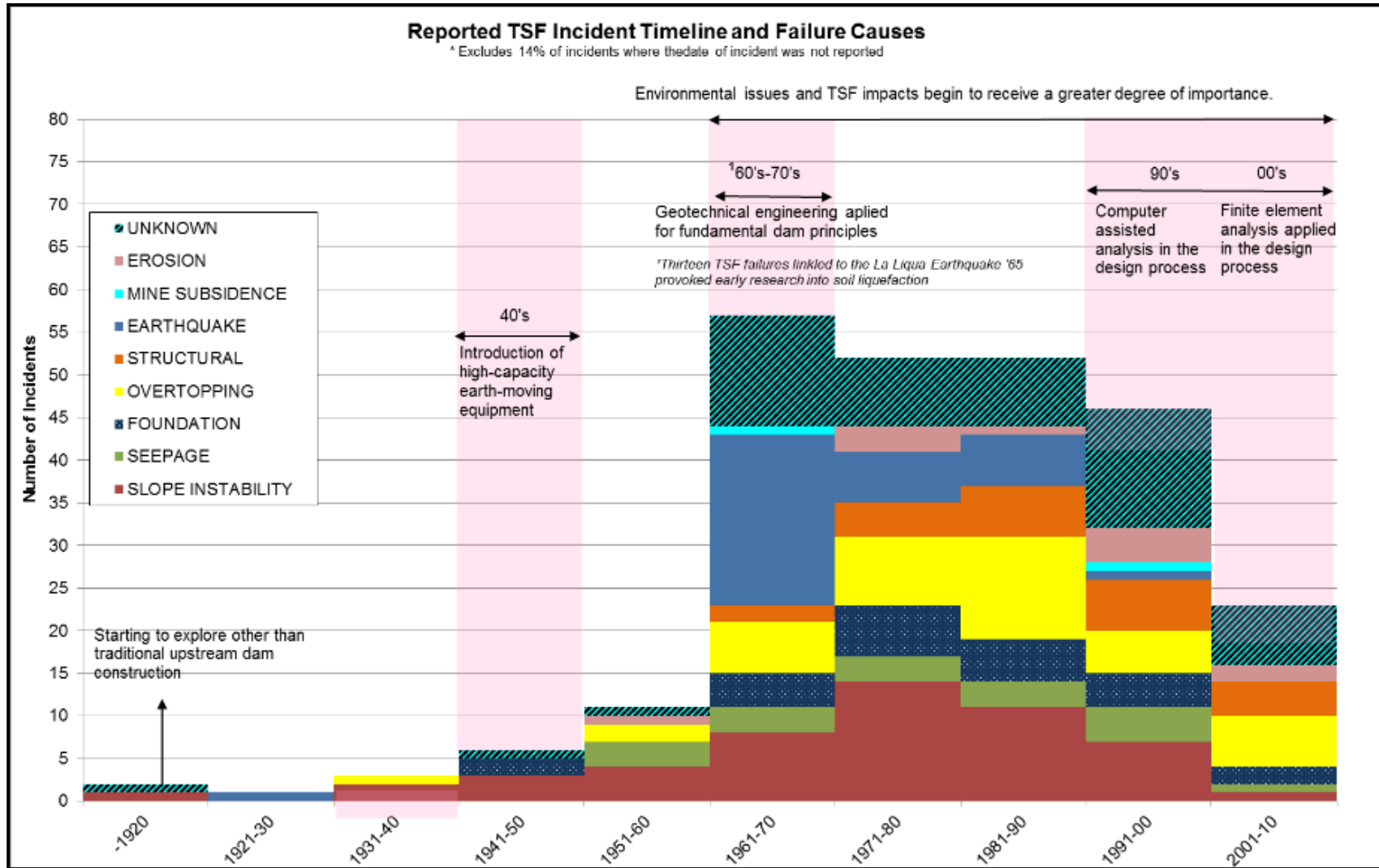
Комитеты МКБП (29)

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 МКБП, 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** (2018-2023)

Почему мы беспокоимся о хвостохранилищах?



- В среднем по всему миру ежегодно происходит 4 значительных прорыва хвостохранилищ
- По меньшей мере 1 раз в год приводит к смертельным случаям и серьезному воздействию на окружающую среду
- Ряд режимов прорыва
- Вероятность прорыва выше, чем у водохранилищ, а потенциальные последствия гораздо серьезнее

Меры, принимаемые в связи с прорывами хвостохранилищ

- **Рекомендации профессионального органа**
 - Международная комиссия по крупным плотинам - **ICOLD**
 - Австралийская комиссия по большим плотинам - **ANCOLD**
 - Канадская ассоциация плотин - **CDA**
- **Отраслевые рекомендации**
 - Международный совет по горному делу и металлам - **ICMM**
 - Горнодобывающая ассоциация Канады - **MAC**
- **Глобальный обзор хвостохранилищ** (Принципы ответственного инвестирования - **PRI**, Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде - **UNE** и **ICMM**)
 - Глобальный отраслевой стандарт по управлению хвостохранилищами – **GISTM** (август 2020 г.)
- **Регулирующие органы**
- **Законодательство и нормативные акты** (например, в Бразилии)



Симпозиум МКБП 2019 (Оттава): МКБП - GISTM

Презентация Майкла Дэвиса, Теск



Bulletin Preprint - 194
Tailings dam safety

CIGB
ICOLD

@

Public Only for members

Member FREE

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

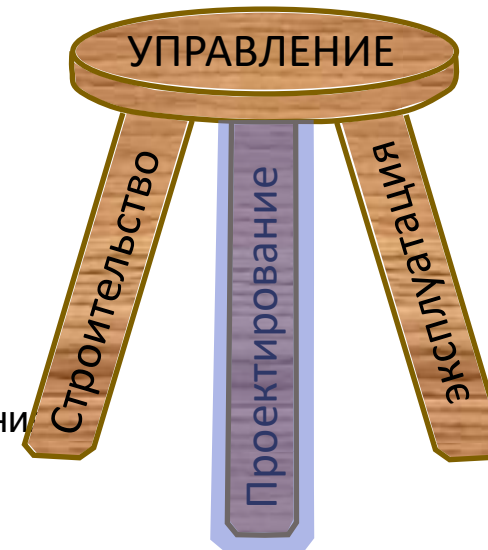
Chile	J. TRONCOSO
China	H. ZHOU
Democratic Republic of Congo	H. K. WA KITAMBO
Finland	H. NURMI
France	F. BROUSSET
Iran	M. ASKARI
Norway	Ø. TOGERSRUD
Romania	C. PRISCU
Russia	A. VAKULENKO
Slovakia	M. BAKES
Spain	F. SÁNCHO CARO
United Kingdom	R. MONROY
Zambia	P. KAMPENGELE

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

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

Бюллетень 194 – Безопасность хвостохранилищ – Краткое описание

1. Введение
2. Управление хвостохранилищем
3. Закрытие
4. Классификация последствий плотины
5. Характеристика участка
6. Характеристика хвостохранилищ
7. Проектирование
8. Управление рисками
9. Прорыв плотины/Анализ прорыва
10. Готовность к чрезвычайным ситуациям и планирование реагирования
11. Строительство
12. Эксплуатация
13. Рекомендации
14. Определения
15. Приложение А Прочность на сдвиг и деформационные характеристики
16. Приложение Б. Система анализа устойчивости хвостохранилищ с усадочным грунтом



- 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

ПРИЛОЖЕНИЕ А

- A.1 Введение
- A.2 Основные понятия поведения почвы при сдвиге
- A.3 Измерение состояния и свойств почвы *in situ* на основе СРТ
- A.4 Сжижение и остаточная не дренированная прочность
- A.5 Выбор соответствующих параметров прочности на сдвиг для проектирования и анализа
- A.6 Особые соображения
- A.7 Список литературы

ПРИЛОЖЕНИЕ В

- B.1 Введение
- B.2 Примеры анализа устойчивости
- B.3 Заключительные замечания

Классификация последствий прорыва плотин	Дополнительные потери				
	Население в группе риска ¹	Потенциальная потеря жизни ²	Окружающая среда ^{3,4}	Здоровье, ранение, Социальное и культурное	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 неустойчивости. 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 натуре 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/компенсации сообществам и очень высокие затраты на социальную адаптацию.

Классификация последствий

Похоже на GISTM

Проектирование наводнения – Проектирование притока воды (IDF)

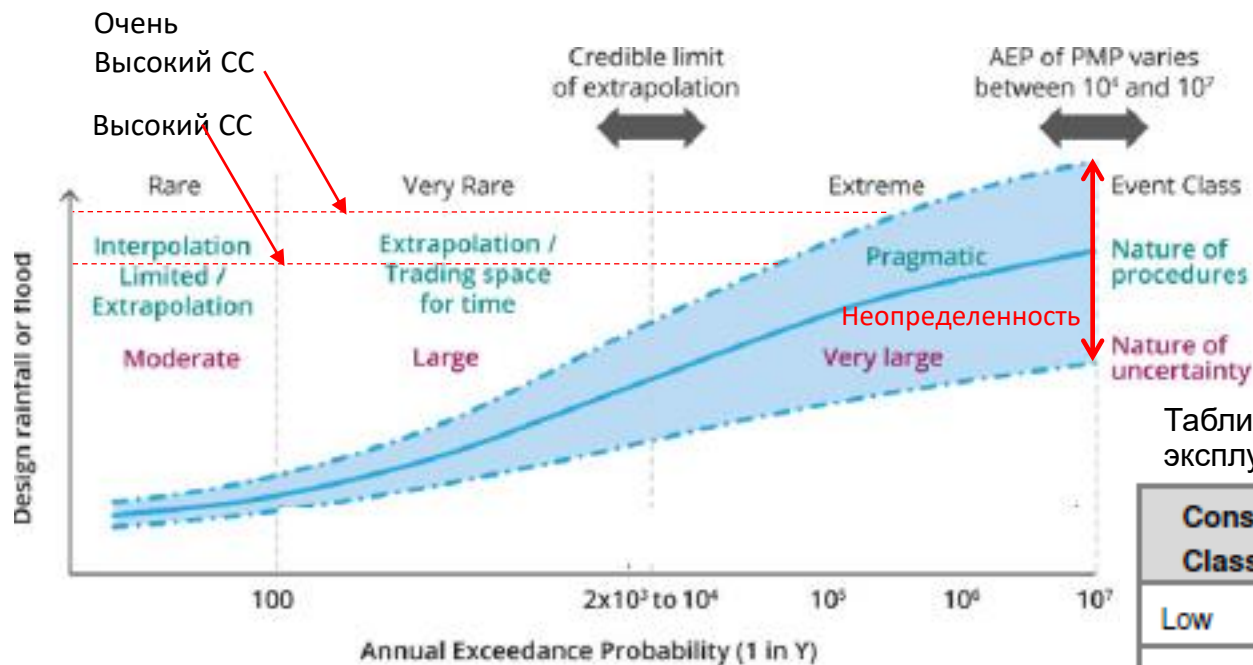


Рисунок 7.2 Пределы неопределенности для крупных наводнений (Nathan et al, 2019)

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.

Сейсмическое проектирование

Таблица 7.3 Предлагаемые минимальные критерии сейсмического проектирования

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.

Рассмотрите более высокие значения для снижения риска и замыкания

Комментарии:

- Рекомендовать оценку сейсмической опасности для конкретного участка
- Сейсмостойкость требует понимания потенциала разжижения и остаточной прочности после землетрясения
- ICOLD не поддерживает использование псевдостатического анализа



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.



Дилатативный



Контрактивный

Анализ стабильности

- **Дамбы хвостохранилища выше по течению должны быть проанализированы на предмет разжижения**
- Присутствуют сейсмические и статические триггеры
- Закрытие - предположим, что может произойти разжижение
-
- Стабильность МКБП подробно рассматривает это
<https://youtu.be/QEduIBYY6Xw>

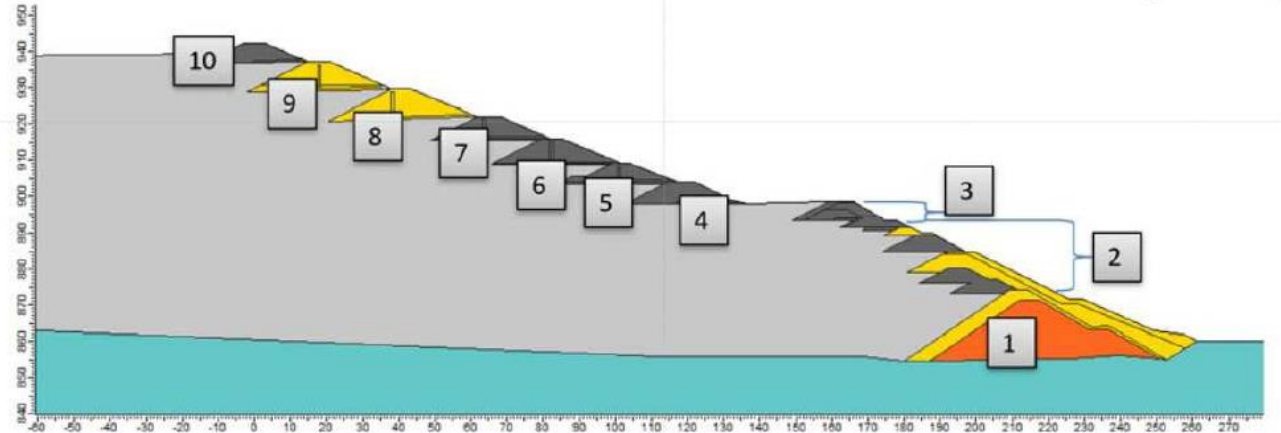
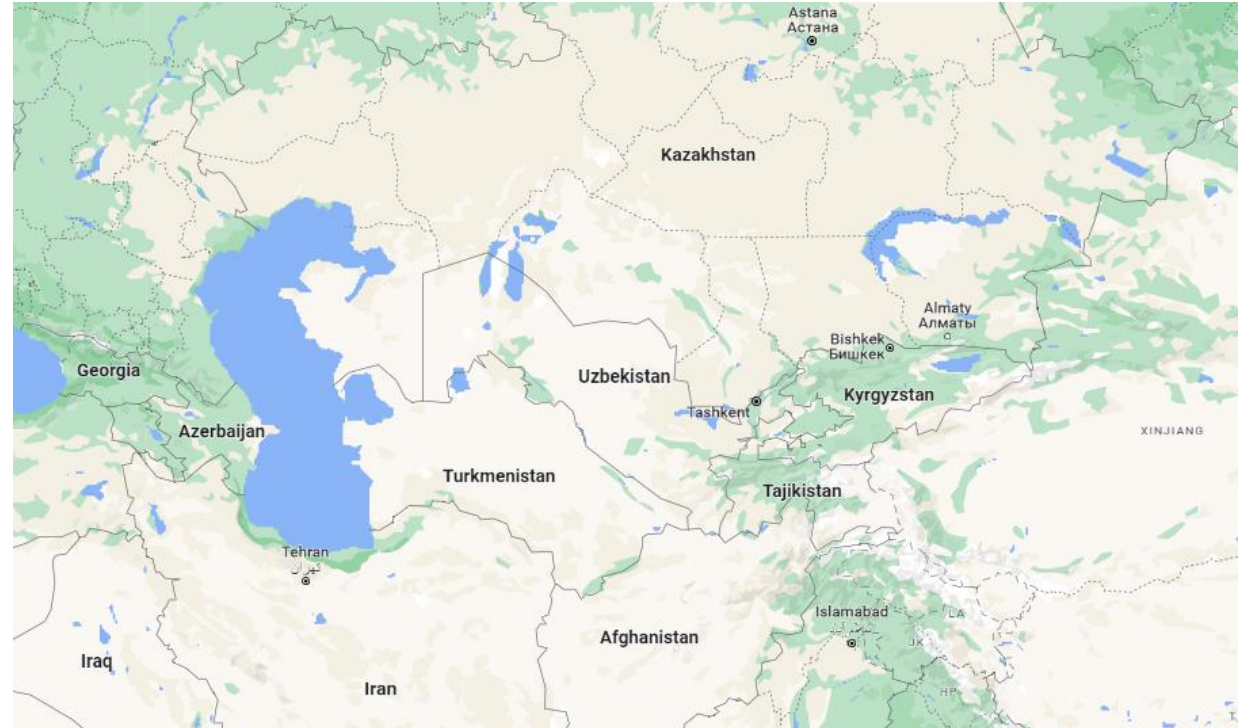


Figure 19: Dam I Cross-section, Showing Raisings and Stages of Construction⁸

Неудача Брумадиньо – 2019 из панельного отчета

Хвостохранилища в Центральной Азии

- **Таджикистан:**
 - 13 Хвостохранилища
 - 10 активные
- **Казахстан**
 - 121 Хвостохранилища
- **Кыргызстан:**
 - 56 Хвостохранилища
 - 13 активные
 - 50 старше 30 лет
- **Узбекистан:**
 - 33 Хвостохранилища
- **Всего: 223**



- Вверх по течению построены хвостохранилища?
- Правила предоставили ограниченное техническое руководство
- Бюллетень МКБП по безопасности дамбы хвостохранилища может дополнять местные правила

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