

УДК 502/504: 55; 624.131

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНДЕКСНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА РИСКОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА В РЕЧНОЙ ДОЛИНЕ

Алёшин Ю. Г.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

На конкретном примере уранового хвостохранилища в городе Майлуу-Суу дана оценка риска заложения хвостохранилища на берегу реки. Использован адаптированный метод LCI в варианте LCI-MOD-Tail. Выявлены основные составляющие риска и его динамика за временной интервал 35 лет

Ключевые слова: Индексы, риск, ущерб, хвостохранилище

ДАРЫЯ ӨРӨӨНҮНДӨГҮ КОЛДОНУУ КОММУНИСТИНИН ТООБЕКТҮҮЛҮГҮН ТАЛДОО БОЮНЧА ИНДЕКСТИК МЕТООДУН ИШКЕ АШЫРУУ

Алешин Ю. Г.

КР УИАнын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Майлуу-Суу шаарындагы уран калдыктары көмүлгөн жайдын конкреттүү мисалында дарыянын жээгинде калдык сактоочу жайлардын бирин коюу коркунучуна баа берилген. LCI-MOD-Tail вариантында ылайыкташтырылган LCI ыкмасы колдонулган. Тобокелдиктин негизги компоненттери жана анын 35 жыл аралыгындагы динамикасы аныкталган

Баштапкы сөздөр: Индекс, тобокелдик, зыян, калдыктар

IMPLEMENTATION OF THE INDEX METHOD FOR THE ANALYSIS OF TAILINGS DAM RISKS IN RIVER VALLEY

Aleshin Yu. G.

Institute of Geomechanics and Development of Subsoil of the NAS KR

The risk of a tailings dam on the river bank is analyzed using the example of the uranium tailings dump in the city of Mailuu-Suu. The adapted LCI method in the LCI-MOD-Tail version is applied. The basic components of the risk and its dynamics for the time interval of 35 years are revealed.

Keywords: Indices, risk, damage, tailings dam.

В работе [1] был предложен вариант адаптации инструмента [2] для анализа рисков дамб – полуколичественного метода LCI, использующего диаграммы расположения, причины и индикаторы отказов применительно к хвостохранилищам. Рассмотрены принципы и процедуры метода и предложен вариант расчёта индексов: гибели людей, экономического ущерба в дальней и ближней зонах поражения, глобального воздействия. Данные, используемые в методе LCI (версия LCI-MOD-Tail) в настоящей работе основаны на фактической информации, полученной на хвостохранилищах № 3 в г. Майлуу-Суу и на руднике Кумтор в 2005 году. Были проведены посещения объектов как для визуального осмотра, так и аналитических комплексных исследований устойчивости дамб и оценки состояния площади потенциального поражения в нижнем бьефе дамбы. Характеристики обоих хвостохранилищ приведены в таблице 1. Следует заметить, что это два принципиально разных объекта: первый из них – давно законсервированное (более 50 лет назад) урановое хвостохранилище, возведённое по технологии намыва в верховом направлении с объёмом ~110 тыс. м³, расположенное практически вблизи русла реки и в пределах городской черты г. Майлуу-Суу, впоследствии (в 2011 году) рекультивированное, а второй – действующее крупное хвостохранилище ЗИФ рудника Кумтор объёмом ~100 млн м³ цианосодержащих отходов жидкой и твёрдой фракции, расположенное в высокогорье в зоне вечной мерзлоты, практически на безлюдной территории, но вблизи от истоков крупной реки Центральной Азии – Нарына (Сыр-Дарья). На картах-схемах территорий размещения хвостохранилищ хорошо заметно различие реальных угроз в зонах возможного поражения в случае аварии на этих объектах (рис. 1 и 2).

Расчёты по дистанции возможного продвижения материалов дамбы и удерживаемых ею хвостов в случае оползневого разрушения в законсервированном и, тем более, в эксплуатируемом состоянии при наличии отстойного пруда показывают, что не менее 30–40% объёма хвостов может оказаться в русле протекающей вблизи реки и образовать временную дамбу с

последующим её прорывом после заполнения речной водой подпрудного озера. Селевой поток, содержащий хвостовой материал, устремится вдоль русла реки вниз по течению, создавая опасность не только физического воздействия на людей, животных, жилые строения и инфраструктуру, но также загрязняя воду, грунты прибрежной зоны и донных отложений опасными химическими и радиоактивными элементами на расстоянии нескольких десятков километров.

Целью применения диаграмм "Расположение, причины и индикаторы разрушения" является установление и оценка видов разрушения с точки зрения вероятности и последствий в глобальной системе на основе внешних признаков или недостатков в работе дамбы. До применения диаграмм LCI-MOD-Tail был рассчитан показатель $G//$ с использованием выражения (3) из работы [1]. После этого причины и индикаторы видов разрушения были классифицированы в соответствии с атрибутами последствий (Cons.), вероятности (Like.) и достоверности (Conf.), как это показано на рис.4. Затем были рассчитаны следующие четыре индекса: I_{ord} , I_{crit} , I_{conf} , I_{risk} .

Таблица 1. Характеристики хвостохранилищ

Характеристики	Хвостохранилища	
	№3 в Майлуу-Суу*	ЗИФ руд. Кумтор**
1. Разрез дамбы	Неоднородный шлам, покрытый песчано-гравийной смесью $\delta = 1,2$ м, упорные призмы ярусов намыва в верховом направлении	Однородная песчано-гравийная смесь, изолирующая плёнка $\delta = 4$ мм, отсыпка дамбы в низовом направлении
2. Функция накопительного резервуара	Хвосты обогащения урановой руды	Хвосты золото извлечения цианидами
3. Классификация объекта по СНиП 33-01-2003, класс	II	II
4. Плотность населения в нижнем бьефе	100 чел/км ²	Нет
5. Экологический интерес в нижнем бьефе	Высокий	Высокий
6. Концентрация объектов в нижнем бьефе	Высокая	Низкая
7. Конечная высота дамбы, м	26	47
8. Гребень: ширина, м	4	7,5
9. Заложение верхового откоса	– 1V:4H	1V:2H 1V:2H

низового откоса		
10. Открытый дренаж	Бетонный канал по границе низового откоса дамбы с боковым примыканием	Грунтовый канал с изолирующей плёнкой
11. Внутренняя дренажная система	Гравийно-песчаный фильтр пионерной дамбы	
12. Водосбросная система	Боковой водосброс	Боковой водосброс
13. Конечный объём пруда, м ³	5500	25·10 ⁶

* Данные по хвостохранилищу № 3 на момент его заполнения в 1965 году.

** Данные по состоянию на 2010 год.

Индекс глобального воздействия GII был рассчитан с учётом потенциальной гибели людей (PLL) и экономических потерь (EL), определённых для ближней (менее 5 км) и дальней (от 5 до 30 км) части долины ниже по течению, как это показано в таблицах 2 и 3. Воздействия определены в соответствии с таблицей 1 работы [1].

Для оценки безопасности хвостохранилища № 3 в г. Майлуу-Суу в 1965 году были изучены отчёты того периода, в том числе материалы изысканий Института "Фундаментпроект" и "Отчёт о консервации хвостохранилища". В отчётных материалах подчёркивалась серьёзная озабоченность по поводу внутренней эрозии и общей устойчивости дамбы при сейсмической интенсивности $\Delta J \geq 7$ баллов, что заставило провести реабилитацию объекта перед его консервацией, уменьшить объём накопленных отходов на 30 %, и понизить высоту дамбы на 20 %. Эти обстоятельства и предопределили самое высокое значение индекса риска (Ind_{risk1}) для показателя фильтрации / утечки как в связи с потерей устойчивости, так и осадкой дамбы.

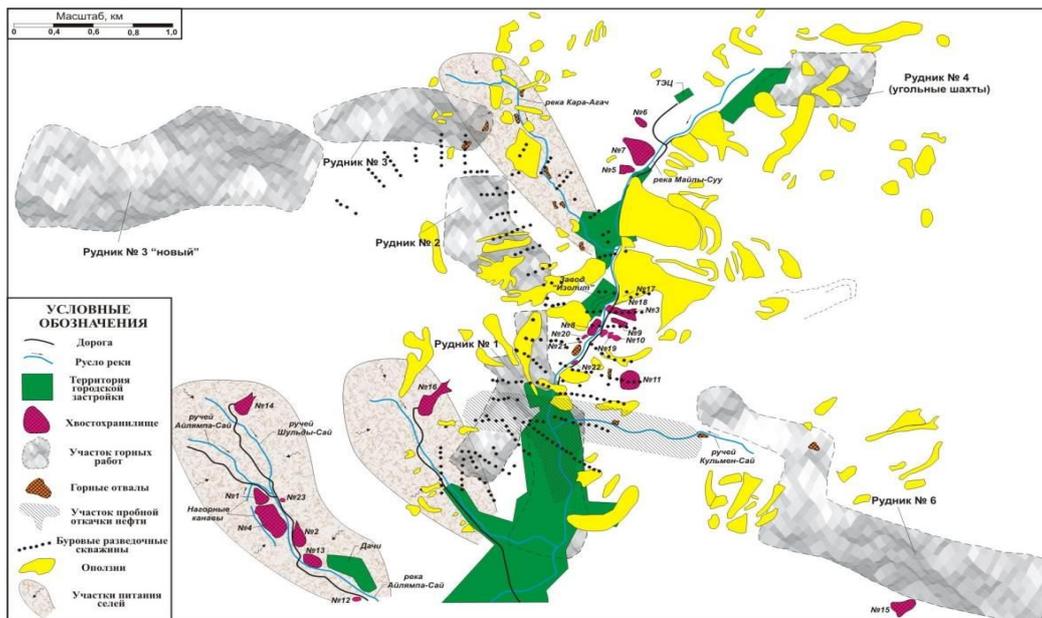


Рис.1. Карта-схема расположения горнопромышленных объектов рудника Майлуу-Суу

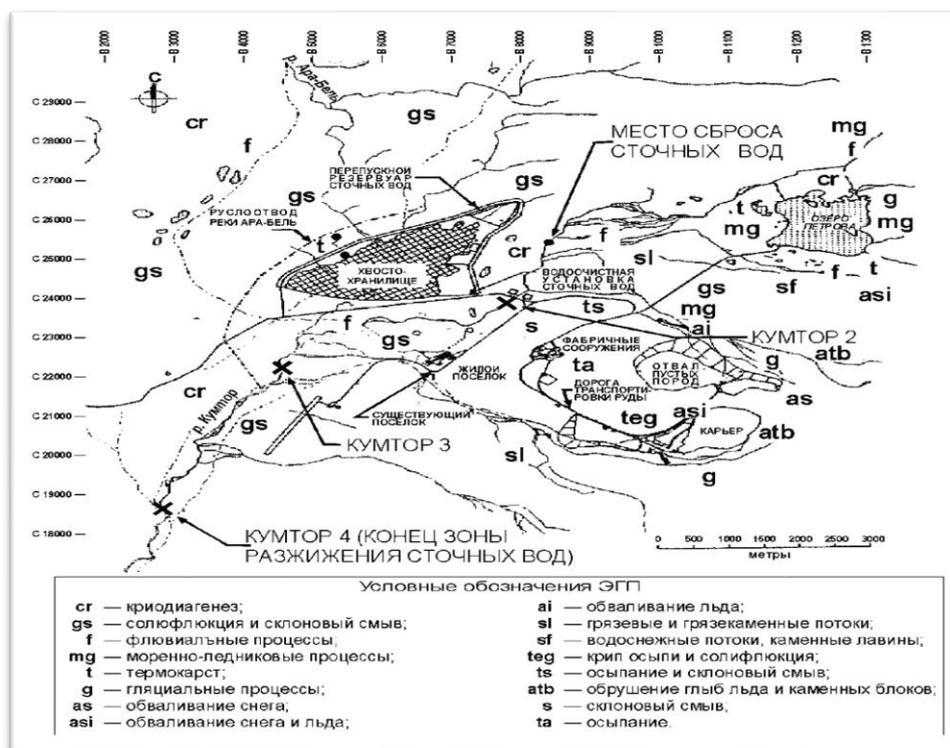


Рис.2. Карта-схема расположения горнопромышленных объектов рудника Кумтор

Воздействие №	Балл воздействия		Весовой коэффициент	Окончательная оценка		Число подверженных опасности людей		Потенциальная гибель людей	
	Хв.№3	Хв.Кумтор		Хв.№3	Хв.Кумтор	Хв.№3	Хв.Кумтор	Хв.№3	Хв.Кумтор

			фи- ци- ент						
1	2	2	0,15	0,3	0,3	100	100	50	50
2	2	2	0,15	0,3	0,3	300	300	150	150
3	1	1	0,10	0,1	0,1	25	22	12	11
4	2	3	0,05	0,1	0,15	50	100	25	50
5	3	0	0,25	0,75	0	150	0	75	0
6	3	1	0,25	0,75	0,25	20	5	10	2
7	4	9	0,05	0,2	0,15	30	0	15	0
Сум- марно				0,25	1,25			337	26,3

Таблица 3. Расчёт потерь PLL в дальней зоне долин ($5 < L < 30$ км)

Воздей- ствие №	Балл воздей- ствия		Весовой коэффи- циент	Окончатель- ная оценка		Число под- вер-женных опас-ности людей		Потенциаль- ная гибель людей	
	Хв. №3	Хв.Кум- тор		Хв. №3	Хв.Кум- тор	Хв. №3	Хв.Кум- тор	Хв. №3	Хв.Ку мтор
1	2	0	0,15	0,3	0	100	0	16	0
2	1	0	0,15	0,15	0	150	0	20	0
3	1	1	0,10	0,1	0,1	25	22	7	7
4	1	0	0,05	0,05	0	10	0	4	0
5	1	0	0,25	0,25	0	20	0	6	0
6	2	1	0,25	0,5	0,25	10	5	4	3
7	3	1	0,05	0,15	0,05	30	2	8	1
Сум- марно				1,5	0,4			65	11

Для оценки безопасности хвостохранилища в 2000 году сам объект и вмещающий его горный массив были осмотрены, а впоследствии проведено их геофизическое изучение. Были отмечены следующие негативные факторы: низкий борт дамбы обвалования, развитие обвально-оползневых процессов на окружающих склонах с возможностью пригрузки хвостохранилища оползневыми массами, инфильтрационная подпитка чаши хвостохранилища и южного фланга дамбы стоком атмосферных осадков, что в целом снижает устойчивость дамбы. Всё это усугублялось отсутствием систем мониторинга. Поэтому хвостам и элементам дамбы, определяющим устойчивость объекта, был присвоен высокий индекс риска (Ind_{risk2}). Заметим, что

максимально возможный уровень частного риска согласно принятой методике составляет значение $Ind_{risk\ max} = 82500$ баллов.

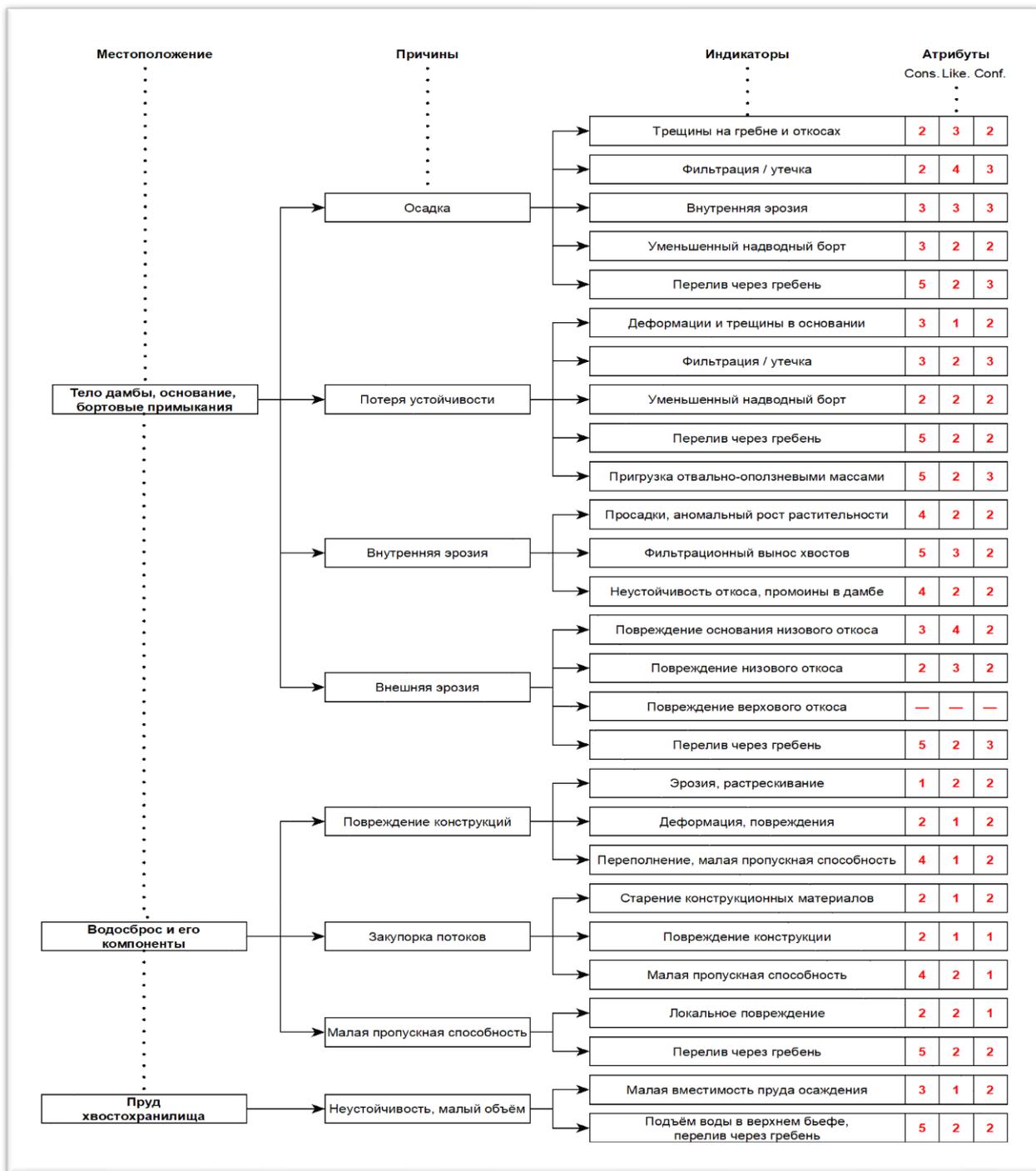


Рис.3. Диаграмма LCI-MOD-Tail для хвостохранилища № 3 в г. Майлуу-Суу по состоянию на 1965 год. Cons., Like., Conf. – атрибуты "последствия", "вероятность" и "достоверность", соответственно

После экспертного обоснования числовых значений индексов Ind_{ord} , Ind_{crit} и Ind_{conf} были проведены расчёты индексов частного и общего рисков Ind_{risk} заложения хвостохранилища по состоянию на 1965 и 2000 годы (табл. 4). Можно ввести следующие граничные значения индекса риска и соответствующие его градации: Ind_{risk} по числовому значению меньше 2% от $Ind_{risk\ max}$ – риск незначительный; от 2 до 5 % – риск низкий; от 5 до 10 % – риск средний; от 10 до 20 % – риск высокий; выше 20 % – риск чрезвычайно высокий. Распределения индексов риска хвостохранилища для двух расчётных временных периодов представлены на рис. 4, которые построены на основании данных таблицы 4. Нормируя индекс критичность Ind_{risk} по отношению к его возможному максимальному значению $Ind_{risk\ max} = 125$, можно анализировать динамику изменения всех видов частных рисков разрушения хвостохранилища и его опасности для 30 км зоны поражения.

Таблица 4. Сравнение индексов ординации (Ind_{ord}), критичности (Ind_{crit}), достоверности (Ind_{conf}) и риска (Ind_{risk}) для хвостохранилища № 3 в г. Майлуу-Суу в баллах по состоянию на 1965 и 2000 год

Место-поло- жение	Причина	Показатель / ин- дикатор	1965 год (случай А)				2000 год (случай В)			
			<i>ord</i>	<i>crit</i>	<i>conf</i>	<i>risk</i>	<i>ord</i>	<i>crit</i>	<i>conf</i>	<i>risk</i>
Тело дамбы, основание и бортовые примыкания	Осадка	Трещины на гребне и откоса	6	12	2	8400	2	4	2	2800
		Фильтрация/ утечка	8	24	3	16800	2	4	2	2800
		Внутренняя утечка	9	27	3	18900	6	18	3	12600
		Уменьшенный наводной борт	6	12	2	8400	4	8	2	5600
		Перелив через гребень	10	30	3	21000	8	16	2	11200
	Потеря устойчивости	Деформация и трещины в основании	3	6	2	4200	3	6	2	4200
		Фильтрация / утечка	6	18	3	12600	-	-	-	-
		Уменьшенный надводный борт	4	8	2	5600	-	-	-	-
		Перелив через гребень	10	20	2	14000	-	-	-	-

Место-поло- жение	Причина	Показатель / ин- дикатор	1965 год (случай А)				2000 год (случай В)			
			ord	crit	conf	risk	ord	crit	conf	risk
	Внутрен- няя эро- зия	Пригрузка об- вально-оползне- выми массами	10	30	3	21000	20	40	2	28000
		Просадки ано- мальный рост растительности	8	16	2	11200	8	16	2	11200
		Фильтрационный вынос грунта	15	30	2	21000	8	24	3	16800
		Неустойчивость откоса, промо- ины в дамбе	8	16	2	11200	8	16	2	11200
	Внешняя эрозия	Повреждение ос- нования низового откоса	12	24	2	16800	3	6	2	4200
		Повреждение ни- зового откоса	4	8	2	5600	2	6	3	4200
		Перелив через гребень	10	30	3	21000	5	15	3	10500
Водосброс и его компо- ненты	Повре- ждение конструк- ций	Эрозионное рас- трескивание	2	4	2	2800	6	12	2	8400
		Деформацион- ные поврежде- ния	2	4	2	2800	4	8	2	5600
		Уменьшение про- пускной способ- ности	4	8	2	5600	6	12	2	8400
	Закупорка потоков	Старение кон- струкционных материалов	2	4	2	2800	4	12	3	8400
		Деформация ма- териалов кон- струкции	2	2	1	1400	4	12	3	8400
		Малая пропуск- ная способность	8	8	1	5600	8	8	1	5600
	Недоста- точная пропуск- ная спо- собность	Локализованное повреждение	4	4	1	2800	6	12	2	8400
Перелив через гребень		10	20	2	14000	8	16	2	11200	
Пруд/чаша хвостохрани- лища	Неустой- чивость и недосточ- ная вме- стимость	Ёмкость чаши и пруда умень- шена	3	6	2	4200	6	18	3	12600

Место-поло- жение	Причина	Показатель / ин- дикатор	1965 год (случай А)			2000 год (случай В)				
			ord	crit	conf risk	ord	crit	conf	risk	
		Подъём воды, заполнение чаши и перелив через гребень	10	20	2	14000	10	20	2	14000
Сумма Ind_{risk}		$\times 10^{-3}$	274				216,3			

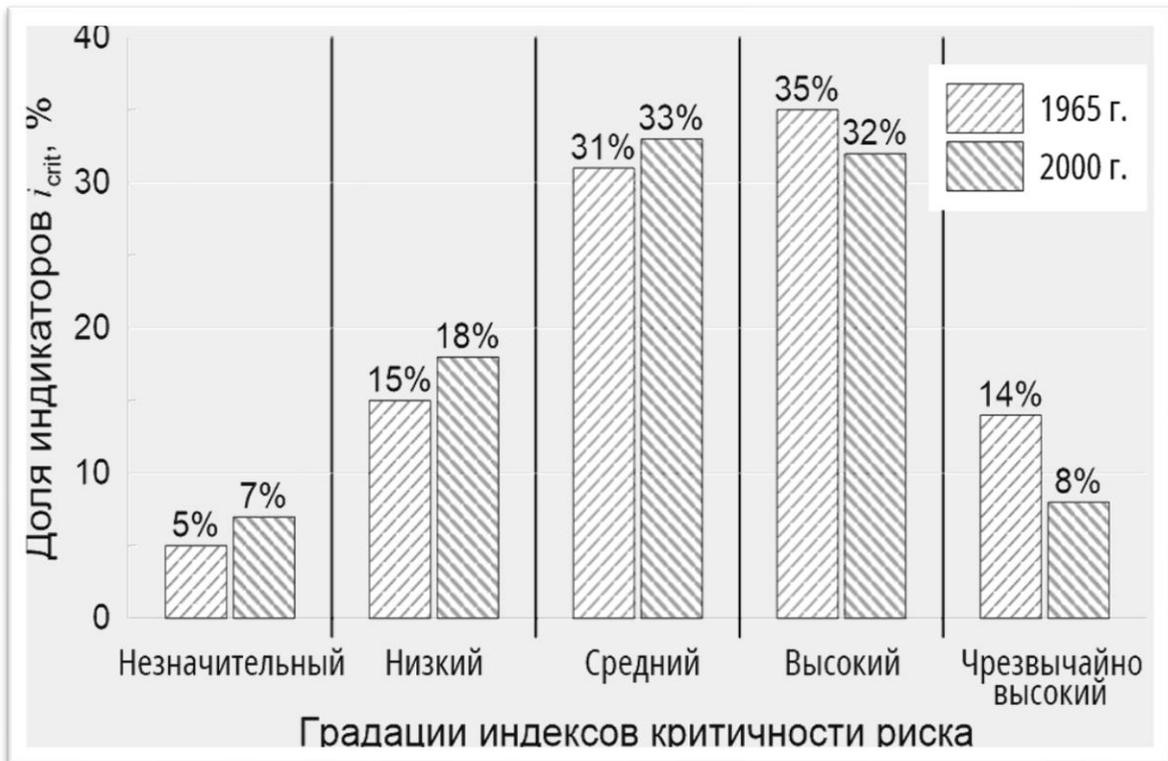


Рис. 4. Динамика распределения индекса критичности риска разрушения хвостохранилища № 3 по годам на основе оценок по методу LCI-MOD-Tail

Далее можно сравнить значения индексов риска по каждому индикатору и каждой причине и оценить динамику развития негативных процессов на площадке заложения хвостохранилища во времени, а также трансформацию риска, выделив наиболее опасные градации: риск высокий и чрезвычайно высокий. Определение величины Ind_{risk} его тенденции и изменение её во времени может дать общую картину готовящейся чрезвычайной ситуации на объекте. В таблице 5 представлены эти величины для хвостохранилища № 3 в г. Майлуу-Суу, дифференцированные по расположению, причинам и индикаторам. При этом в каждом более крупном классе элемента объекта использован максимальный индикатор самого мелкого класса.

Общее относительное снижение рисков по сумме индикаторов риска за 35 лет, истёкшие с момента консервации хвостохранилища, составило ~21 %. Если бы за этот период времени был перенесён завод "Кыргызэлектроизолит" с промплощадки рудника в безопасное место, то снижение риска δ'_{risk} было бы ещё существеннее, что следует из анализа таблиц 4 и 5, и составило бы более 28 %.

Возможно и обратное решение задачи, которая выглядит как поиск минимальных затрат на удовлетворение определённой нормы риска Ind_{risk}^* , которая задана априорно. Сравнивая варианты стоимости тех или иных мероприятий по снижению риска, можно будет определить оптимальный их состав.

Таблица 5. Динамика индексов высокого и чрезвычайно высокого риска для площадки размещения хвостохранилища № 3 в г. Майлуу-Суу в различные годы (1965 и 2000 год)

Местоположение	Причина	Показатель/индикатор	Индекс Ind_{risk} 1995г. 2000г.
Риск в 1965 г. Чрезвычайно высокий: $Ind_{risk} > 17\ 500$ баллов			
1. Тело дамбы, ос-нование и бортовые примыкания	1.1. Осадка	1.1.1. Внутренняя утечка	18900 12600
		1.1.2. Перелив через гребень	21000 11200
	1.2. Потеря устойчивости	1.2.1. Пригрузка: обвальнополозневными массами	21000 28000
		1.3. Внутренняя эрозия	1.3.1. Фильтрационный вынос грунтов
	1.4. Внешняя эрозия	1.4.1. Перелив через гребень	21000 10500
Риск в 1965 г. Высокий Ind_{risk} от 12 500 до 17 500 баллов			
1. Тело дамбы, ос-нование и бортовые примыкания	1.1. Осадка	1.1.1. Фильтрация/утечка	16800 2800
	1.2. Потеря устойчивости	1.2.1. Фильтрация/утечка	12600 0
	1.4. Внешняя эрозия	1.4.1. Повреждение основания низового откоса	14000 0
2. Водосброс и его компоненты	2.1. Недостаточная пропускная способность	2.1.1. Перелив через гребень	14000 11200
3. Пруд/чаша хвостохранилища	3.1. Недостаточная вместимость	3.1.1. Перелив через гребень	14000 14000

Применение к хвостохранилищам метода анализа рисков в варианте LCI-MOD-Tail позволяет лучше понять поведение изучаемых объектов и доказывает, что его использование является инструментом для принятия решений в процессе управления рисками на площадке заложения этих объектов: может быть получена наглядная картина развития, трансформации или деградации рисков под влиянием конкретных управленческих решений или, напротив, когда управление отсутствует, а процессы развиваются под влиянием природных и/или неконтролируемых социальных и антропогенных факторов.

Путём несложных вычислительных процедур можно оценить эффективность управленческих решений, направленных на:

- реконструкцию / реабилитацию хвостохранилищ с различными мероприятиями их поведения;
- устранение внутренних и внешних воздействий на хвостохранилище или снижения их интенсивности / магнитуды;
- правильную расстановку акцентов геоконтроля и мониторинга и принятия на их основе своевременных мер технологических воздействий, профилактического ремонта;
- изменения в социальной сфере территорий, попадающих в зону поражения при аварии на хвостохранилище.

В настоящем исследовании использованы результаты фактических наблюдений и подробного инженерно-геологического изучения хвостохранилища, что снимает вопрос о верификации метода. В большинстве случаев при анализе старых и заброшенных объектов утилизации ГПО нет многих непосредственных данных о возможных инцидентах и авариях в прошлом, да и многие детали проекта и качества строительства неизвестны, однако применение данного метода может указать, на каких аспектах следует сосредоточить усилия для снижения риска, связанного с потенциальным разрушением таких сооружений.

Крупным достоинством метода LCI-MOD-Tail является его возможность включать в анализ разнообразную информацию о последствиях аварии на хвостохранилище – потеря жизни людей, трансформация социальных и экономических показателей.

В тех случаях, когда проводится портфельный анализ рисков для хвостохранилищ, например, стоящих на учёте в МЧС, предложенная методика может определить объекты, которые должны стать приоритетными для немедленного технического обслуживания и ремонта, а после проведения последнего – оценки эффективности такого ремонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшин Ю.Г. Индексный метод анализа рисков, адаптированный для хвостохранилищ на горной территории: принципы и процедуры // Современные проблемы механики: Гидрогазодинамика, геомеханика, геотехнология и информатика. Научно-технический журнал, N⁰ (настоящий сборник).
2. Hughes A. K., Hewlett H. W. M., Elliott C. Risk management for UK reservoirs //Proceedings of the biennial conference of the BDS held at the University of Bath on 14-17 June 2000. – Thomas Telford Publishing, 2000. – С. 148-158. doi: 10.1680/d2000.28708.0015