

УДК 624.131

Алешин Юрий Георгиевич, к.т.н,
старший научный сотрудник
Институт геомеханики и освоения недр НАН КР
Алешин Юрий Георгиевич, т.и.к.,
улук илимий кызматкер
КРнын УИАнын Геомеханика жана жер казынасын өнүктүрүү институту
Aleshin Yuri Georgievich
Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher.
Institute of Geomechanics and Subsoil Development, NAS KR,

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ В СТАДИИ ЗАКРЫТИЯ

Аннотация. Изложены научно-методические подходы к разработке национальных нормативных документов по оценке безопасности хвостохранилищ, размещаемых на геоморфологически и сейсмически активной горной территории. Методология основана на экспертном анализе долговечности гидро- и геотехнических объектов, сооруженных в соответствии с критериями международной практики, и вероятностном представлении о формируемых рисках разрушения и последствиях.

Ключевые слова: безопасность, вероятность, оценка риска, передовая международная практика, хвостохранилище.

ЖАБУУ ЭТАБЫНДА КООПСУЗДУК КООПСУЗДУККА БААЛОО БОЮНЧА СУНУШТАР

Аннотация. Геоморфологиялык жана сейсмикалык жактан активдүү тоолуу аймактарда жайгашкан калдык сактоочу жайлардын коопсуздугун баалоо боюнча улуттук ченемдик документтерди иштеп чыгуунун илимий-методикалык ыкмалары белгиленген. Методология эл аралык практиканын критерийлерине ылайык гидро- жана геотехникалык объектилердин, курулмалардын туруктуулугуна эксперттик талдоо жүргүзүүгө жана калыптанган кыйроо коркунучтарын жана кесепеттерин болжолдуу көрсөтүүгө негизделген.

Ачык сөздөр: коопсуздук, ыктымалдуулук, тобокелдикти баалоо, эл аралык мыкты тажрыйба, калдыктар.

RECOMMENDATIONS FOR THE SAFETY EVALUATION OF TAILING FACILITIES IN THE CLOSURE STAGE

Abstract. Scientific and methodological approaches to the development of national regulatory documents for assessing the safety of tailings located in geomorphologically and seismically active mountain areas are outlined. The methodology is based on an expert analysis of the durability of hydro- and geotechnical facilities, structures in accordance with the criteria of international practice, and a probabilistic representation of the formed risks of destruction and consequences.

Key words: safety, probability, risk assessment, international best practice, tailings.

В связи с очень сложной природой хвостохранилищ, обусловленной поэтапным проектированием и строительством, непрерывной эксплуатацией, зачастую совпадающими во времени, длительными сроками стадии закрытия и постэксплуатационного хранения горных отходов, а также изменением руководящих принципов и практики в течение многих лет, требуется применение особенных, нетрадиционных инструментов оценки риска, контроля и управления безопасно-

стью на участках их размещения (рис.1).

В настоящей разработке представлен инструмент оценки риска для управления безопасностью хвостохранилищ, являющейся адаптацией и существенной доработкой ряда последних зарубежных публикаций, развивающих идею Silva et al. [1], которая связывает среднегодовую вероятность аварии геотехнического объекта с коэффициентом запаса его устойчивости и техническим уровнем его проектирования, сооружения, эксплуатации и обслуживания.

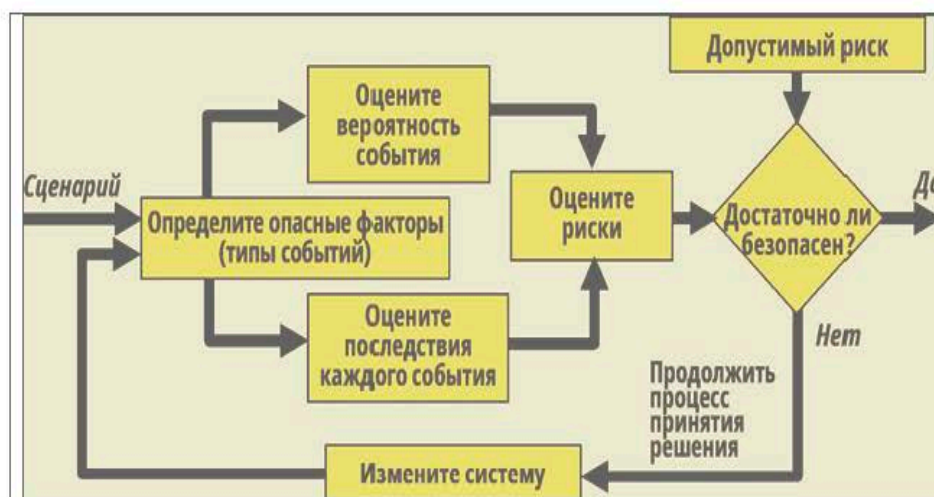


Рис.1. Технология оценки безопасности объекта

Этот инструмент включает эмпирический метод оценки среднегодовой вероятности аварии геотехнического объекта, которая затем сочетается с количественной оценкой последствий аварии для получения объективной и детальной оценки риска, сопоставление которого с допустимым уровнем риска определяет безопасность на участке его размещения. Инструмент целесообразно использовать для оценки риска портфеля хвостохранилищ горнодобывающей компании, или организации типа Агентства по управлению хвостохранилищами при МЧС, включая идентификацию ключевых элементов любого конкретного объекта, которые могут быть направлены на управление риском для определения приоритетности обследования, мо-

нитинга и корректирующих действий. Важно, что это также приводит к систематизации и унификации документации по объектам портфеля, заблаговременного пополнения её необходимыми данными. Использование этого инструмента позволяет имплементировать замысел и требования проектов реабилитации в сложные операционные реалии, с которыми сталкиваются подобные организации [2].

Ключевые элементы методики продемонстрированы на примере изучения уранового хвостохранилища №3 в Майлуу – Суу накануне его реабилитации (рис.2), заложенного вблизи береговой линии; ниже по течению реки - городская застройка [3].



Рис.2. Общий вид хвостохранилища № 3 накануне его реабилитации

Оценка риска в настоящей разработке, как и в подавляющем большинстве других методик, например [4], включает в себя некоторую степень субъективности, однако предлагаемый подход является вполне объективным, поскольку он основан на количественных оценках более 30 критериев или утверждений, которые должны быть подтверждены документально историческими данными или результатами специальных исследований. Более того, благодаря включению в процедуру оценки команды независимых экспертов и представителей надзорного органа, объективность ещё более усиливается. В спорных случаях, при резко расходящихся оценках уровня практики или отсутствии документальной подтвержденной информации к процедуре оценки целесообразно привлечение оператора хвостохранилища.

Этот метод приводит к оценке реалистичного значения среднегодовой вероятности разрушения геотехнического объекта *APF* на основе количественно измеряемых и связанных параметров – фактора безопасности *FS* и уровня практики всех этапов его сооружения *LOP*, включая предпроектные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатацию, закрытие и мониторинг (рис. 3). При этом перед экспертами ставится задача обоснования оценки конструктивной целостности объекта на протяжении

достаточно продолжительного времени (по современным требованиям – не менее 1000 лет хранения горных отходов).

Отличительной чертой предлагаемой методики является получение при расчетах среднегодовой вероятности аварии / разрушения *APF* хвостохранилища гарантированных оценок в виде доверительных вероятностей, которые определяются как степень расхождения оценок уровня практики *LOP* в экспертной группе, так и некоторой неопределенностью в знаниях состояния и свойств грунтов, слагающих объект и вмещающий его горный массив, что определяют значение фактора безопасности *FS*. Эта информация является важной для лиц, принимающих решения на основе полученных оценок риска, поскольку в числовой форме будут определены ошибки первого и второго рода для того или иного решения и появиться основание не для интуитивного, но обоснованного выбора альтернативных решений. В нормативных документах могут быть прописаны подобные гарантии.

Предлагаемые в настоящей разработке методические рекомендации используют эволюционный / исторический подход к оценке безопасности хвостохранилища с учетом характеристик, формируемых на всех временных стадиях его жизни и побуждает специалистов по оценке риска оценивать ретроспективно

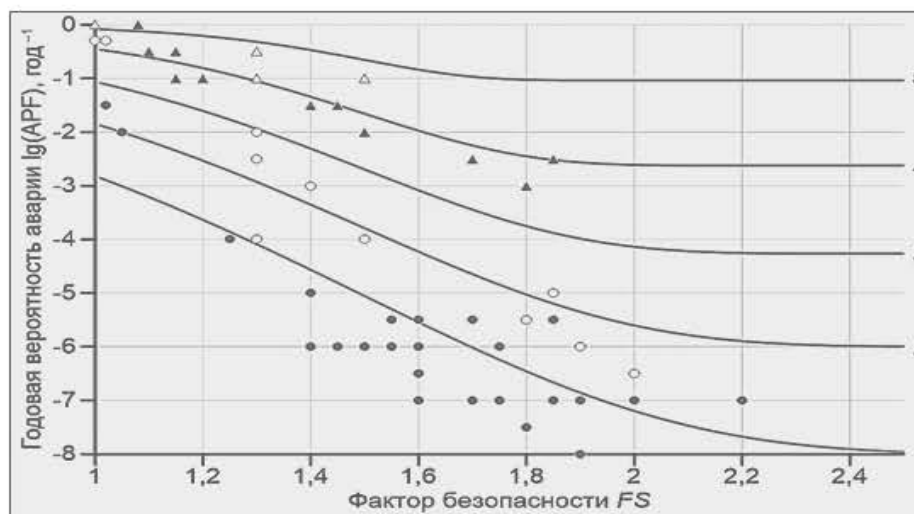


Рис. 3. Зависимости годовой вероятности аварии геотехнического объекта от фактора безопасности и рейтинга LOP (1, 2, 3, 4, 5)

последствия тех или иных технических и организационных решений, допущенных на всех стадиях, но с современных позиций / знаний. Это отличается от многих методов, проводимых в современной практике, которые рассматривают хвостохранилище как вне исторически созданную структуру и оценивают существующую на сегодняшний день или в перспективе стабильность (конечный отказ), но не разбивают период его создания на отдельные временные этапы и оценивают поэтапно формируемые риски. Хотя общая процедура может быть трудоемкой, она необходима для оценки долгосрочной безопасности хвостохранилища. В частности, включение предлагаемого подхода в процессы проектирования предстоящего закрытия объекта позволит скорректировать и компенсировать в процессе предстоящей реабилитации ранее принятые и заложенные в конструкцию неудачные и неэффективные решения. Например, если экспертами при гидрогеологическом анализе стадии «Проектирование», фазы «Анализ и документация» установлен факт анализа ситуации на основе ограниченных данных в той стадии, хотя гидрогеологические процессы в данной конкурентной ситуации играют решающую роль в фи-

зической и геохимической устойчивости объекта, то эти процессы должны быть подробно изучены на этапе изысканий в предпроектной стадии закрытия и приняты меры по его стабилизации в долгосрочном аспекте.

Решения о безопасности хвостохранилища принимаются в вероятностной форме в виде распределенной оценки – среднего значения и доверительного интервала с прогнозом эволюции этих показателей во времени (рис.4), которые изменяются в зависимости от степени деградации объекта и вмещающего его горного массивами и / или от ценности инфраструктуры и плотности населения в зоне возможного поражения при аварии. Оценки последствий основаны на классификационной таблице, типичной для горнодобывающей промышленности, и включают оценки от незначительных (1) до экстремальных / критических (5). Одна из последних разработок такой классификации применительно к хвостохранилищам предложена в Глобальном стандарте [5].

Последствия предлагается классифицировать и оценивать по пяти видам ущерба с соответствующими весами: количество людей, подверженных риску; вероятная гибель людей; деградация

окружающей среды; потери здоровья, мические потери. На основе этого опре-
воздействие на социум и культуру; ин- деляется средневзвешенная категория
фраструктурные изменения и эконо- ущерба.

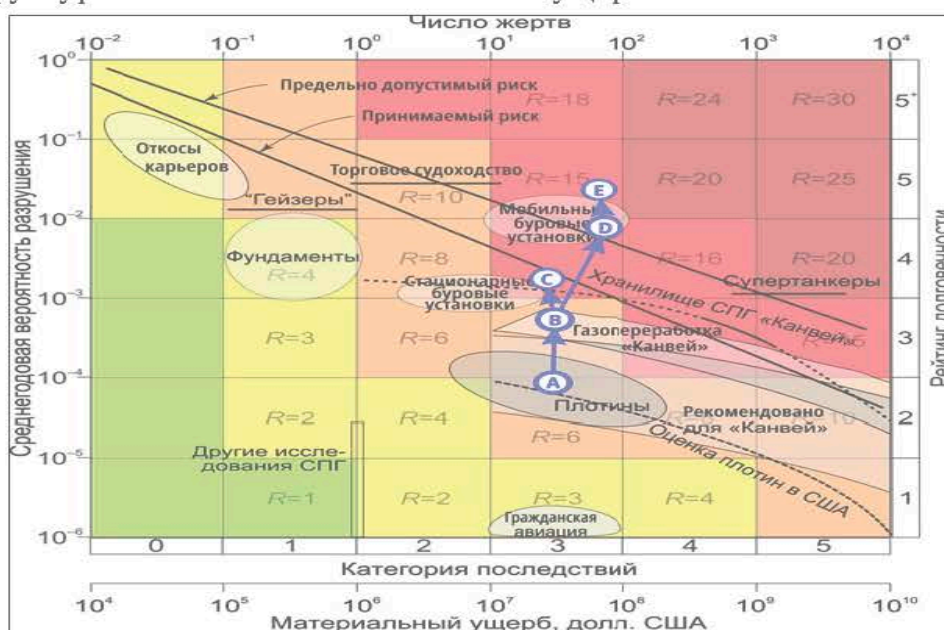


Рис.4. Эволюция риска разрушения хвостохранилища № 3 во времени (точки А, В, С, D, E) при различных вероятностных сценариях

В данной разработке представлены рекомендации по внедрению приняты решений с учетом риска в программы обеспечения безопасности хвостохранилищ, в том числе в процесс подготовки нормативных / руководящих документов. Предполагаемые заинтересованные лица - государственные агентства, владеющие и / или регулирующие эти объ-

екты. Рекомендации также могут быть применены к хвостохранилищам, не находящимся в государственной собственности или регулируемым, которые могут оказывать воздействие на объекты, находящиеся в государственной собственности или им регулируемые; однако это потребует сотрудничества и участия владельца хвостохранилища, не являющегося государственным органом.

Литература

1. Silva, F., Lambe, T.W., and Marr, W.A. Probability and risk of slope failure. //Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 134(12), 2008. – P. 1691–1699. doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:12(1691).
2. Айтматов И. Т., Алёшин Ю. Г., Торгоев И. А. Концепция научно-технического сопровождения проектов утилизации опасных горнопромышленных отходов.// Доклады НАН КР.- 2019.- № 1.- С. 22-28.
3. Алешин Ю. Г., Торгоев И. А., Лосев В. А. Радиационная экология Майлуу-Суу. – Бишкек, Илим, 2000. – 96 с.
4. Schafer, H.L.; Beier, N.A.; Macciotta, R. Applying a Generalized FMEA Framework to an Oil Sands Tailings Dam Closure Plan in Alberta, Canada. Minerals 2022, 12, 293. <https://doi.org/10.3390/min12030293>.
5. ICMM, UN, PRI. А отраслевой стандарт управления хвостохранилищами. Окончательный проект. 5. 08. 2020.-43 с.