

ISSN 1694-6065

ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР
НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ,
ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ИНФОРМАТИКИ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
№ 51 (1), 2023 г

БИШКЕК-2023

ISSN 1694-6065

ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАН
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА



СОВРЕМЕННЫЕ ПРО- БЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ,
ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ИНФОРМАТИКИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 51(1), 2023 г

БИШКЕК-2023

Журнал издается
с января
2001 года

Выходит 4 раза в год

Учредитель:
Институт геомеханики
и освоения недр Национальной
Академии наук Кыргыз-
ской Республики.

Адрес редакции:
Кыргызская Респуб-
лика,
г. Бишкек,
ул. Медерова, 98,

тел: +996 312 541 115,
+996 312 54 11 17,
+996 554 62 40 68
факс: +996 312 541 117

Журнал зарегистриро-
ван в Министерстве
юстиции КР
Свидетельство
№ 2179 от 25.03.2016

ISSN 1694-6065

Подписано в печать
20.03.2023 г.
Тираж 200 экз.
Заказ

Отпечатано в
типографии
КГТУ им. И. Раззакова

Рецензируемое научно-периодическое из-
дание

Редакционная коллегия:

Главный редактор
Кожоголов К.Ч., академик НАН КР, д.т.н., про-
фессор, ifmgrp@yandex.ru

Ответственный секретарь
Орозобекова А.К., к.ф.-м.н., в.н.с.,
oakk@mail.ru

Члены редколлегии

Айтматов И.Т. – акад. НАН КР, д.т.н., проф
(КР);

Ахметов Б.С. – д.т.н., профессор (КР);

Бримкулов У.Н. – чл.-корр. НАН КР, д.т.н., про-
фессор (КР);

Бийбосунов Б.И. – д.ф.-м.н., профессор (КР);

Баймахан Р.Б. – д.т.н., профессор (КР);

Бийбосунов А.И. – д.ф.-м.н. (КР);

Воробьев А.Е. – д.т.н., профессор (Россия).

Ершина А.К. – д.ф.-м.н., профессор (КР)

Жаманбаев М.Ж. – д.ф.-м.н., профессор (КР);

Исманбаев А.И. – д.ф.-м.н., профессор (КР);

Кабаева Г.Д. – д.ф.-м.н., профессор (КР);

Никольская О.В. – д.т.н. (КР);

Рычков Б.А. – д.ф.-м.н., профессор (КР);

Рыбин А.К. – д.ф.-м.н. (КР);

Тажибаев К.Т. – д.т.н., профессор (КР);

Тлебаев М.Б. – д.т.н., профессор (КР)

Чечейбаев Б.Ч. – д.ф.-м.н., профессор (КР);

Чормонов М.Б. – д.ф.-м.н., профессор (КР);

Материалы напечатаны с оригиналов авторов.
Журнал индексируется в библиографической
базе РИНЦ.

УДК 531

ББК 22.25 © Институт геомеханики и осво-
ения недр НАН КР и Комитет по теоретиче-
ской и прикладной механике Кыргызстана,
2023

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

Выпуск пятьдесят первый (1), 2023 г.

УДК 622.013

О КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСАХ КЫР- ГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Кожоголов К.Ч., Сатыбалдиев Н.М.

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыр-
гызской Республики

В статье приводятся минеральные ресурсы, признанные критически
важными в ряде стран мира. Проанализированы запасы и ресурсы критиче-
ских минералов Кыргызстана с целью их вовлечению в эксплуатации с уче-
том геологических, пространственных и технологических характеристик за-
лежей, доступности к инфраструктурным объектам.

Ключевые слова: критические минералы, цифровая карта, сурьма.

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ӨТӨ МААНИЛҮҮ МИНЕРАЛДЫК РЕ- СУРСТАРЫ ЖӨНҮНДӨ

Кожоголов К.Ч., Сатыбалдиев Н.М.

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика
жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макалада бир катар өлкөлөрдө өтө маанилүү деп таанылган
минералдык ресурстардын тизмеси келтирилген. Кендердин геологиялык,
мейкиндик жана технологиялык мүнөздөмөлөрүн, инфратүзүмдүк
объекттерге жеткиликтүүлүгүн эске алуу менен аларды эксплуатациялоого
тартуу максатында Кыргызстандын критикалык минералдарынын
запастары жана ресурстары талданган.

Баштапкы сөздөр: өтө маанилүү минералдар, санариптик карта,
сурьма.

ABOUT CRITICAL MINERAL RESOURCES OF THE KYRGYZ REPUBLIC

Kozhogulov K.Ch., Satybalдиеv N.M.

Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy
of Sciences of the Kyrgyz Republic

The article provides a list of mineral resources recognized as critically im-
portant in a number of countries. Reserves and resources of critical minerals of

the Kyrgyzstan are analyzed in order to involve them in exploitation, taking into account geological, spatial and technological characteristics of deposits, accessibility to infrastructure facilities.

Keywords: critical minerals, digital map, antimony.

Геологическая служба США в феврале 2022 г. разместила информацию о перечне из 50-и критически ("стратегически") важных минеральных ресурсов [1].

Помощник министра внутренних дел Соединенных Штатов Таня Труджилло (Tanya Trujillo) отмечает, что стратегические сырьевые ресурсы играют важную роль в национальной безопасности государства, экономики, развитии возобновляемых источников энергии и инфраструктуры США.

Правительство Великобритании в июле 2022 г. (обновлено в марте 2023 г.) впервые в истории страны опубликовало программный документ под названием "Устойчивость к будущему: стратегия Великобритании в области критических полезных ископаемых" [2]. В документе критическими для Соединенного Королевства признаны 17 наименований металлов и минералов (в том числе 2 группа металлов).

В предисловие к Программному документу отмечается, что к 2040 году мировое потребление критически важных твердых полезных ископаемых возрастет в 4 раза, а на литий, графит, кобальт и никель – более чем в 6-13 раз.

Правительством Российской Федерации утвержден перечень основных видов стратегического минерального сырья России (взамен к распоряжению Правительства РФ от 16 января 1996 г. № 50-р) [3]. В перечень включены 42 наименований видов твердых полезных ископаемых (в том числе 2 группы металлов).

В документе дается указание государственным органам РФ обеспечить приоритетное финансирование за счет средств федерального бюджета работы по геологоразведке и воспроизводству минерально-сырьевой базы дефицитных видов стратегических ресурсов.

В работе [4] отмечается, что годовой спрос на критически важные металлы (редкие и редкоземельные) за период с 2005 по 2021 гг. вырос в 2 раза и достиг 125 тыс. т. По прогнозам, к 2030 году спрос достигнет 315 тыс. т в год, что приведет к резкому ужесточению глобальной конкуренции за металлы.

Европейская Комиссия в марте 2023 г. опубликовала проект закона "О критическом сырье" (European Critical Raw Materials Act – CRMA) [5]. Критически важные минерально-сырьевые ресурсы имеют экономическое и стратегическое значение для европейских стран. При этом их запасы в регионе значительно зависят от импорта, отмечается в документе CRMA.

Критически важное металлическое сырье являются незаменимым ресурсом для стратегических секторов экономики ЕС, включая зеленую и цифровую технологии, оборонные и космические сферы, здравоохранение. Государства-члены ЕС импортируют многие виды твердых полезных ископаемых. Страны-импортеры сырья монополизировали как их добычу, так и переработку. Например, из всех поставок магния в ЕС более 97% осуществляет Китай. Редкоземельные металлы, используемые в производстве магнитов, 100% поставляет КНР. 63% мирового кобальта, используемого в батареях, добывается в Конго, а 60% перерабатывается в Китае. Такая монополизация подвергает ЕС значительным рискам поставок. Существуют прецеденты, когда страны-импортеры критически важных минералов и металлов оказывали политическое давление против стран-потребителей с помощью экспортных ограничений.

Там же отмечается, что в связи с переходом к возобновляемым источникам энергии и цифровизации экономик государств-членов ЕС спрос на некоторые критически важные сырьевые ресурсы будет расти в ближайшие десятилетия. Прогнозируется, что к 2050 году потребность промышленности государств-членов ЕС в редкоземельных металлах увеличится в 6-7 раз, на галлий, используемый в производстве полупроводников, – в 17 раз.

Вторичное использование металлов (вторичная переработка) в определенной степени компенсирует прогнозируемый рост спроса, но ожидается, что это не сильно изменит тенденцию.

В документе 52023PC0160: "Предложение по Регламенту Европейского Парламента и Совета, устанавливающие основу для обеспечения безопасных и устойчивых поставок критически важного сырья..." металлы делятся на стратегические и критические [6].

Стратегическая важность минералов определена исходя из актуальности сырья для перехода государств-членов ЕС к зеленым и цифровым технологиям, а также для оборонных и космических секторов. В перечень стратегического металлического сырья включены 16 наименований их видов (в том числе 2 группы металлов).

К критически важным ресурсам относятся стратегические металлы, а также любые другие металлы, которые достигают или превышают пороговое значение для ЕС как критичные в экономической значимости, так и риска поставок. Критически важным минеральным сырьем признаны 33 наименований видов полезных ископаемых (в том числе 2 группы металлов).

Совет по энергетике, окружающей среде и водным ресурсам Правительства Индии опубликовал документ о том, что к 2030 году ожидается высокая экономическая значимость и высокий риск поставок в страну по 12 видам минералов [7]. Акцентируется внимание на том, что Индия не обладает существенными запасами и ресурсами большинства этих полезных ископаемых и на 100% зависит от импорта 7 видов из них, при этом КНР является поставщиком шести из 12 критически важных металлов. Государственные структуры Австралии [8], Канады [9], Южной Кореи [10] и Японии [11] также разработали нормативно-правовые документы, определяющие перечень критически важных минеральных ресурсов и стратегию по их управлению.

Заслуживают внимания данные по импорту минеральных ресурсов со стороны Китая, так как страна традиционно является экспортером номер один для большинства металлов на мировой рынок. В статье [12] раскрываются объемы импортируемых в КНР металлических руд.

Так на 100% Китай покупает на внешнем рынке титан, калий, олово; более 90% - марганец, ниобий, цирконий, гафний, хром, никель, кобальт, платиноиды, кремний, гелий; более 50% - железную руду, медь, алюминий, литий, бериллий, тантал, рений, золото и бор.

Таблица 1 - Список критически важных металлов и минералов

Наименование металлов и минералов	Символ	Австралия (2022)	Англия (2022)	ЕС (2023)	Индия (2016)	Канада (2022)	Россия (2022)	США (2022)	Корея (2020)	Япония (2020)
алмазы	C						x			
алюминий	Al	x		x		x	x	x		
барий	Ba								x	x
барит	BaSO ₄			x				x		
бериллий	Be	x		x	x		x	x	x	x
бор	B			x					x	x
ванадий	V	x	x	x		x	x	x	x	x
висмут	Bi	x	x	x		x		x		x
вольфрам	W		x	x		x	x	x	x	x
галлий	Ga	x	x	x		x	x	x	x	x
гафний	Hf	x		x			x	x	x	x
гелий	He	x		x		x	x			
германий	Ge	x		x	x	x	x	x	x	x
графит	C	x	x	x	x	x	x	x	x	x
редкоземельные металлы	REE	x	x	x	x	x	x	x	x	x
золото	Au						x			
известняк для цемента	-				x					
индий	In	x	x			x	x	x	x	x
иридий	Ir							x		
кадмий	Cd								x	
калий	K					x	x			

кобальт	Co	x	x	x		x	x	x	x	x
коксующийся уголь	-			x						
кремний	Si		x	x	x		x		x	x
литий	Li	x	x	x		x	x	x	x	x
магний	Mg	x	x	x		x		x	x	x
марганец	Mn	x				x	x	x	x	x
медь	Cu			x		x	x			
молибден	Mo					x	x		x	x
мышьяк	As			x				x	x	
никель	Ni			x		x	x	x	x	x
ниобий	Nb	x	x	x	x	x	x	x	x	x
олово	Sn	x	x			x	x	x	x	
плавиковый шпат	CaF ₂			x		x	x	x		
платиноиды	PGM	x	x	x		x	x	x	x	x
полевые шпаты	-			x						
рений	Re	x			x		x		x	x
родий	Ro							x		
рубидий	Rb						x	x		
рутений	Ru							x		
свинец	Pb						x			
селен	Se	x							x	x
серебро	Ag						x			
скандий	Sc	x		x		x	x			
стронций	Cr			x	x				x	x
сурьма	Sb	x	x	x		x	x	x	x	x
таллий	Tl								x	x
тантал	Ta	x	x	x	x	x	x	x	x	x
теллур	Te		x			x		x	x	x
титан	Ni	x		x		x	x	x	x	x
уран	U					x	x			
фосфаты	-			x			x			
фосфор	P			x			x		x	
фтор	F						x			x
хром	Cr	x			x	x	x	x	x	x
цезий	Cs					x	x	x	x	x
цинк	Zn					x	x	x		
цирконий	Zr	x			x		x	x	x	x

На территории Кыргызской Республики отечественными геологами обнаружены и изучены проявления и месторождения металлических руд, признанных критически важными в ряде стран.

Поставлена задача раскрытия потенциала добычи и переработки критически важных минерально-сырьевых ресурсов КР, находящихся в заданных геологических, экономических и географических условиях. Так, в кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS Desktop 3.30.1 создана цифровая карта, с указанием территориального расположения залежей критических полезных ископаемых (см. рис. 1).



Рис. 1 - Месторождения и проявления критически важных минеральных ресурсов КР (фрагмент).

В табл. 2 представлен общий тоннаж подсчитанных и предварительно оцененных ресурсов критически важных металлов (значения получены из открытых источников в результате обобщения геологических отчетов по месторождениям и проявлениям металлических руд Кыргызстана).

Таблица 2 - Объемы запасов и ресурсов критически важных металлов КР

Наименование металлов и минералов	Символ	Запасы и ресурсы
барит	BaSO ₄	835,3 тыс. т
бериллий	Be	101,4 тыс. т

месторождения "доминанты" в указанных площадях горнопромышленных районов; геолого-технологические показатели, отдаленности от инфраструктурных объектов и т.д. (рис. 2 и 3).



Рис. 3 - Установление доступности инфраструктурных объектов (ЛЭП, ПС, автодороги) к залежам сурьмяных руд (фрагмент).

ВЫВОДЫ

1. Критически важные минералы являются незаменимыми ресурсами для стратегических секторов экономики многих стран, включая зеленую и цифровую технологии, военно-промышленные и космические сферы, здравоохранение. Ожидается кратный мировой спрос на них;
2. Кыргызская Республика обладает существенной минерально-сырьевой базой критически важных металлических руд. Раскрытие потенциала их освоения является важнейшей задачей.

ЛИТЕРАТУРА

1. U.S. Geological Survey Releases List of Critical Minerals, <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals>. Policy paper Resilience for the Future: The UK's Critical Minerals Strategy, <https://www.gov.uk/government/publications/uk-critical-mineral-strategy/resilience-for-the-future-the-uks-critical-minerals-strategy>.
2. Распоряжение Правительства РФ от 30.08.2022 г. № 2473-р, <http://government.ru/docs/all/142852>.

3. РСПП предложил Мишустину поддержать производителей редких металлов, <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2022/11/01/948466-rspp-predlozhit-mishustinu-podderzhat>.
4. Critical Raw Materials: ensuring secure and sustainable supply chains for EU's green and digital future, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1661.
5. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0160>.
6. Critical Non-Fuel Mineral Resources for India's Manufacturing Sector: A Vision for 2030, https://dst.gov.in/sites/default/files/CEEW_0.pdf.
7. Critical Minerals Strategy 2022, <https://www.industry.gov.au/publications/critical-minerals-strategy-2022>.
8. Canada's critical minerals strategy: Discussion paper, <https://www.canada.ca/en/campaign/critical-minerals-in-canada/canada-critical-minerals-strategy-discussion-paper.html>.
9. Lee, K.; Cha, J. Towards Improved Circular Economy and Resource Security in South Korea, <https://dx.doi.org/10.3390/su13010017>.
10. Japan's new international resource strategy to secure rare metals, https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/special/article/detail_158.html.
11. 陈其慎, 张艳飞, 邢佳韵, 龙涛, 郑国栋, 王琨, 崔博京, 覃升. 2021. 国内外战略性矿产厘定理论与方法[J]. 地球学报, 42(2):137-144.
12. Matthew G. Boebinger, et al., "Spontaneous and reversible hollowing of alloy anode nanocrystals for stable battery cycling" (Nature Nanotechnology, 2020), <https://doi.org/10.1038/s41565-020-0690-9>.

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 МЕТОДУН 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 проведены 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 GII 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 золота 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.

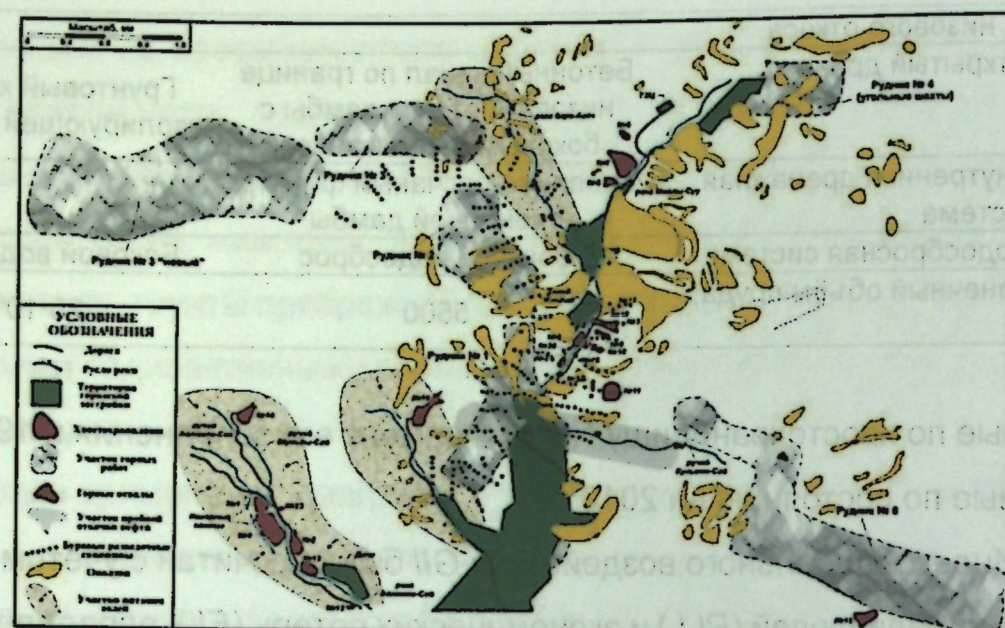


Рис.1. Карта-схема расположения горнопромышленных объектов рудника Майлуу-Суу

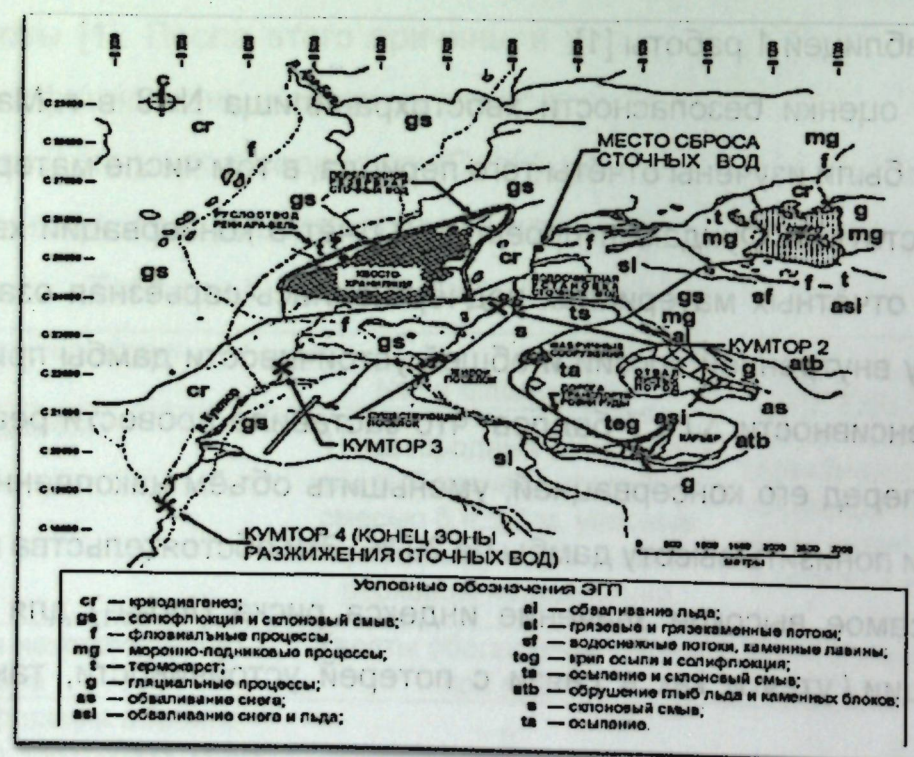


Рис.2. Карта-схема расположения горнопромышленных объектов рудника Кумтор

Воз- дей- ствие №	Балл воздей- ствия		Ве- со- вой ко- эф-	Окончательная оценка		Число подвер- женных опасно- сти людей		Потенциаль- ная гибель лю- дей	
	Хв.№3	Хв.Кум- тор		Хв.№3	Хв.Кум- тор	Хв.№3	Хв.Кум- тор	Хв.№3	Хв.Кум- тор

1	2	2	фи- ци- ент			100	100	50	50
			0,15	0,3	0,3				
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. Расчет 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.

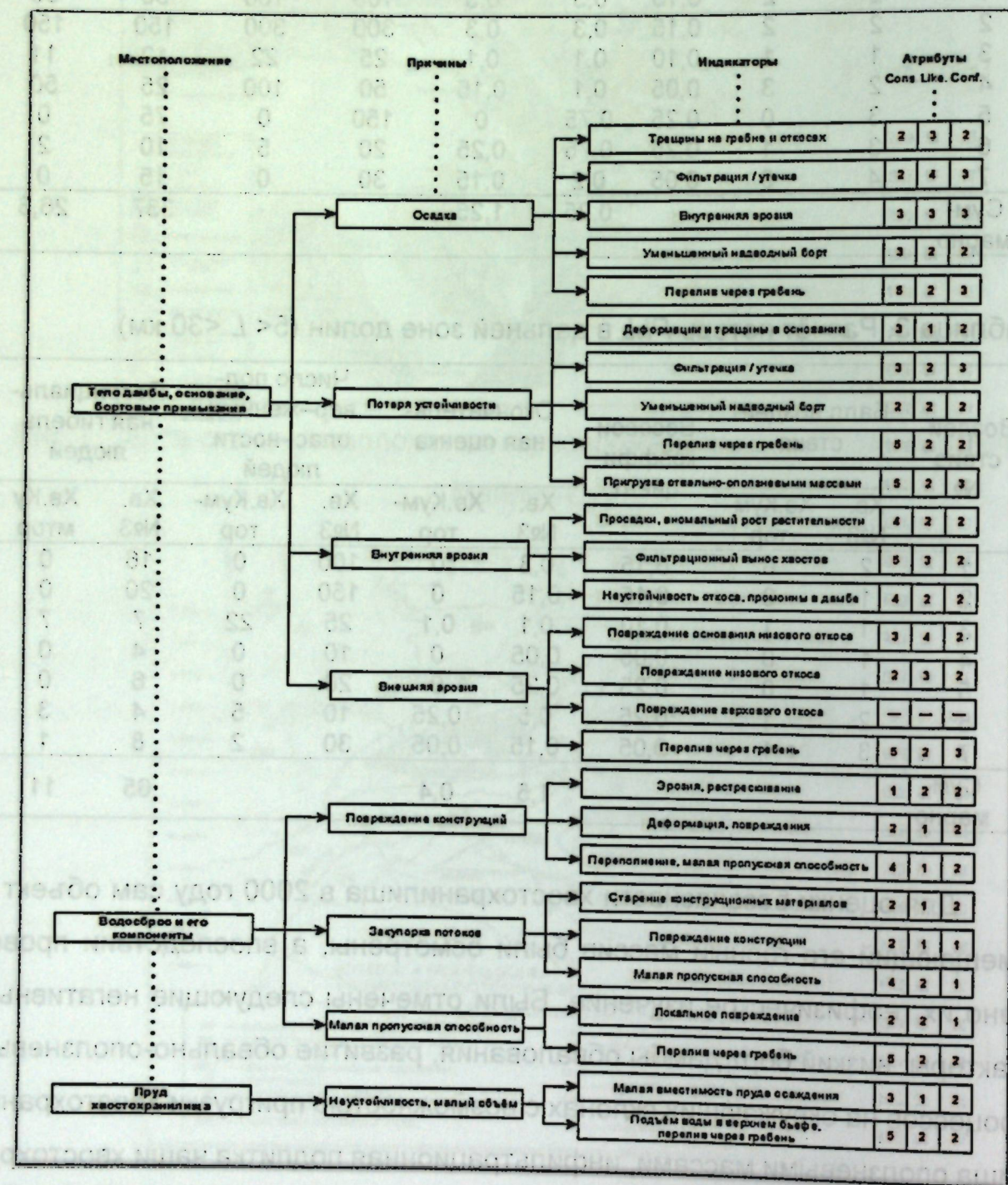


Рис.3. Диаграмма LCI-MOD-Tail для хвостохранилища № 3 в г. Майлуу-Суу по состоянию на 1965 год. Cons., Like., Conf. – атрибуты "последствия", "вероятность" и "достоверность", соответственно

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)			
			ord	crit	conf	risk	ord	crit	conf	risk
Тело дамбы, основание и бортовые примыкания	Осадка	Трещины на гребне и откосах	6	12	2	8400	2	4	2	2800
		Фiltrация / утечка	8	24	3	16800	2	4	2	2800
		Внутренняя утечка	9	27	3	18900	6	18	3	12600
		Уменьшенный наводный 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
		Фiltrация / утечка	6	18	3	12600	-	-	-	-
		Уменьшенный наводный борт	4	8	2	5600	-	-	-	-
		Перелив через гребень	10	20	2	14000	-	-	-	-
		Эрозия, растрескивание	1	2	2	-	-	-	-	-

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	8	16	2	11200	8	16	2	11200
		растительности								
		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	12	24	2	16800	3	6	2	4200
		откоса								
		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 кон- потоков	2	4	2	2800	4	12	3	8400
		Старение кон- струкционных материалов								
		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	4	4	1	2800	6	12	2	8400
		Локализованное повреждение								
		Перелив через гребень	10	20	2	14000	8	16	2	11200
Пруд/чаша хвостохрани- лища	Неустой- чивость и недосточ- ная вме- стимость	Емкость 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
		Подъем 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 бор-товые примыка-ния	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 обвальными оползневыми массами	21000 28000
	1.3. Внутренняя эрозия	1.3.1. Фильтрационный вынос грунтов	21000 16800
	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 бор-товые примыка-ния	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, № (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

УДК 622.013

ПЕРСПЕКТИВЫ КЫРГЫЗСТАНА В ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ

Кожоголов К.Ч., Исаева Г.С., Сатыбалдиев Н.М.

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики

В статье приводится описание перспективы разработки некоторых видов металлических залежей в Кыргызстане. Раскрываются возможности доступа к зеленой и дешевой электроэнергии, вырабатываемой ГЭС для организации энергозатратных в добыче и переработке металлических руд.

Ключевые слова: руда, ГЭС, электрометаллургия, магний.

КЫРГЫЗСТАНДЫН ЖАШЫЛ ЭНЕРГИЯНЫ КОЛДОНУУ МЕНЕН КЕН КАЗУУ ЖАНА МЕТАЛЛ ӨНДҮРҮҮ КЕЛЕЧЕГИ

Кожоголов К.Ч., Исаева Г.С., Сатыбалдиев Н.М.

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макалада Кыргызстандагы металл кендеринин айрым түрлөрүн иштетүүнүн келечеги баяндалат. ГЭСтерден иштелип чыккан жашыл жана арзан электр энергиясын кен казууда жана металл өндүрүүдө колдонуу жөндөмдүүлүгү каралган.

Баштапкы сөздөр: кен-байлык, ГЭС, электрометаллургия, магний.

PROSPECTS OF KYRGYZSTAN IN THE EXTRACTION AND PROCESSING OF METAL ORES USING GREEN ENERGY

Kozhogulov K.Ch., Isaeva G.S., Satybaldiev N.M.

Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

The article describes the prospects for the development of some types of metal deposits in Kyrgyzstan. The possibilities of access to green and cheap electricity generated by hydroelectric power plants for the organization of energy-intensive in the extraction and processing of metal ores are revealed.

Keywords: ore, hydroelectric power station, electrometallurgy, magnesium.

Металлы находятся в начале всех промышленных цепочек создания стоимости. Многие виды полезных ископаемых, такие как алюминий, магний, медь, кремний, цинк, титан являются незаменимыми ресурсами для перехода мировой экономики к зеленым и цифровым технологиям [1].

По оценкам [2] в 2040 году потребление металлов, используемых в зеленой экономике возрастет в 4 раза, а по некоторым видам более чем в 6-13 раз. Цены на сырье также показывают устойчивый рост, например, с января 2017 по декабрь 2022 гг. цена на металлический магний (минимальное содержание металла 99,9%) на китайской бирже колебалась от 12,1 тыс. до 64,0 тыс. юаней за 1 тонну [3]. По состоянию на июнь 2023 г. товарный магний продается за 20,7 тыс. юань/т.

Принимая во внимание мировую тенденцию по декарбонизации отраслей экономики – снижению использования углеродов и выбросов парниковых газов – для Кыргызской Республики видится перспективным направлением создание промышленного сектора в экономике – добыча и переработка металлических руд с использованием зеленой (чистой) энергии.

Гидроэнергетический потенциал кыргызских рек огромен: возможности, сосредоточенные на 23 реках, оцениваются мощностью в более 15 млн киловатт, по выработке в более чем 140 млрд киловатт-часов в год [4].

Таблица 1 - Энергетический потенциал КР (крупные и средние ГЭС)

Наименование станции	Установленная мощность (МВт)	Сток реки	Статус
Токтогульская ГЭС	1200	Нарын	действующая
Курпсайская ГЭС	800	Нарын	действующая
Ташкомурская ГЭС	450	Нарын	действующая
Шамалдысайская ГЭС	240	Нарын	действующая

Учкурганская ГЭС	180	Нарын	действующая
Камбаратинская ГЭС-2	120 (проектная 360)	Нарын	действующая
Атбашинская ГЭС	40	Атбаши	действующая
Нижнечаткальская ГЭС	1100	Чаткал	перспективная
Баркраукская ГЭС	700	Чаткал	перспективная
Камбаратинская ГЭС-1	1860	Нарын	строящаяся
Караколская ГЭС	33	Каракол	перспективная
Кокомеренская ГЭС-1, 2	1272	Кокомерен	перспективная
Тогуз-Тороузская ГЭС	248	Нарын	перспективная
Карабулунская ГЭС-1, 2	312	Нарын	перспективная
Алабугинская ГЭС	600	Нарын	перспективная
Арпанская ГЭС-1, 2	194	Алабуга	перспективная
Макмальская ГЭС	112	Алабуга	перспективная
Сазская ГЭС	108	Алабуга	перспективная
Джиланарыкская ГЭС-1, 2	178	Нарын	перспективная
Акталинская ГЭС	38	Нарын	перспективная
Атбашинская ГЭС (Нарын)	135	Нарын	перспективная
Акджарская ГЭС	40	Атбаши	перспективная
Ойтерекенская ГЭС-1, 2	45,5	Атбаши	перспективная
Талдысуйская ГЭС-1, 2	46,7	Атбаши	перспективная
Верхне-Нарынский каскад ГЭС	237,7	Нарын	строящаяся
Куйлюкская ГЭС	170	Сарыджаз	перспективная
Энильчекская ГЭС	60	Сарыджаз	перспективная
Акшийракская ГЭС	350	Сарыджаз	перспективная
Кокшаальская ГЭС	250	Сарыджаз	перспективная
Куюкапская ГЭС	250	Сарыджаз	перспективная

Энергия рек в качестве энергоресурса имеет принципиальные преимущества по сравнению с другими видами топлива. Ее не нужно добывать, обрабатывать, транспортировать, использование гидроэнергии не дает отрицательного влияния на экологию в виде выбросов вредных веществ. Плотины гидростанции позволяют регулировать речной сток, просты в эксплуатации (по сравнению с ТЭС и АЭС), дешевые. Вода водохранилищ может использоваться в сельском хозяйстве для полива, развития рыбохозяйства.

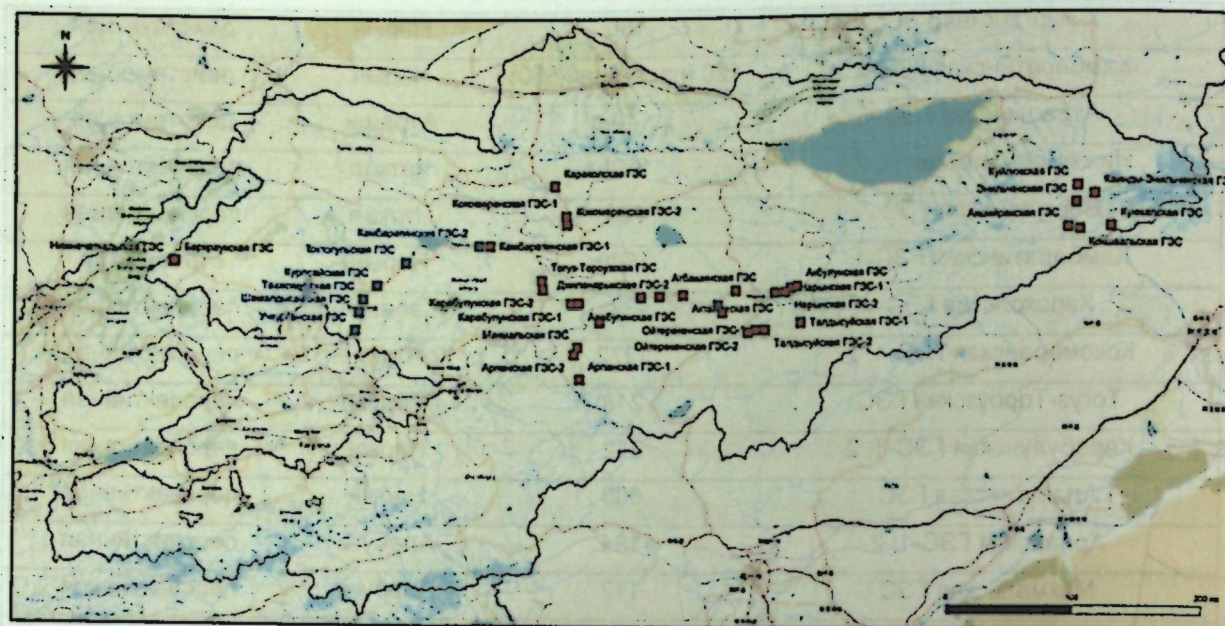


Рис. 1 - Крупные и средние ГЭС (существующие, перспективные).

Возможность доступа к зеленой (чистой) и дешевой электроэнергии, вырабатываемой ГЭС для организации энергозатратных (до 50-70% от всех затрат) [5-7] в добыче и переработке алюминиевых, магниевых, медных, кремниевых, титановых и цинковых руд, является явным конкурентным преимуществом Кыргызской Республики по сравнению с другими государствами региона и мира в целом.

Объемы разведанных запасов и предварительно оцененных ресурсов Кыргызстана по металлам составляют: алюминия (бокситы, нефелиновые сиениты) - 4,5 млрд т, магния (доломит, магнезит, серпентиниты) – 1 млрд т, меди – 7,5 млн т, кремния – 1,5 млрд. т, цинка – 2 млн т, титана – не менее 100 млн т (значения получены из открытых источников в результате обобщения геологических отчетов по месторождениям и рудопроявлениям металлических руд КР).

В кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS Desktop 3.30.1 создана цифровая карта, с указанием территориального расположения отмеченных видов полезных ископаемых (см. рис. 2).

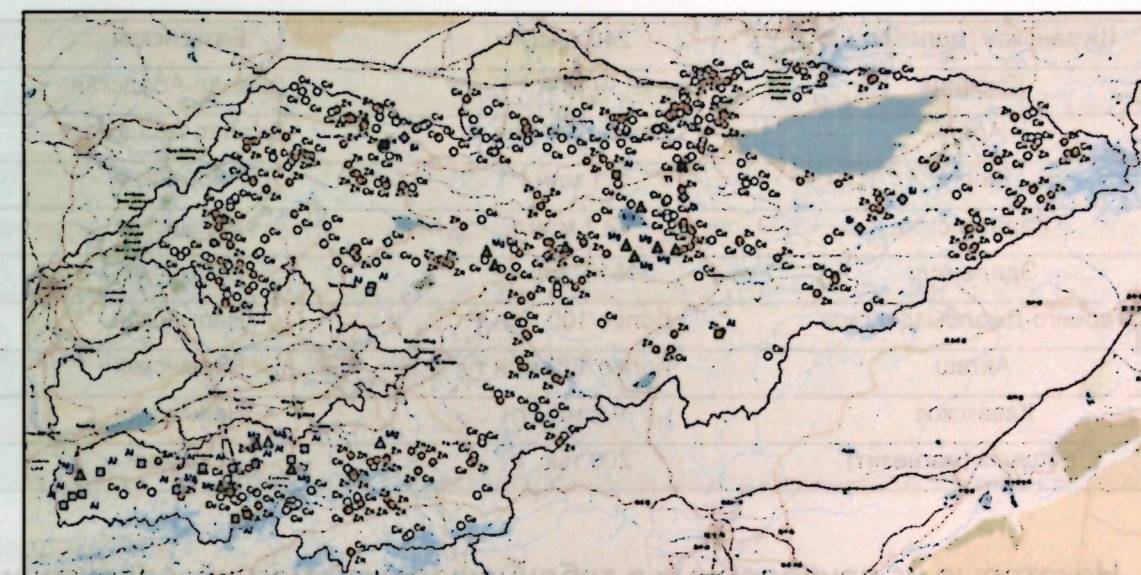


Рис. 2 - Месторождения и рудопроявления алюминия, магния, кремния, титана, меди и цинка.

На примере магниесодержащих руд рассмотрим перспективы Кыргызстана в добыче и переработке металлических руд с использованием зеленой (чистой) энергии.

В основу электрометаллургического (электротермического) способа положен процесс восстановления магния из обожженного доломита. В качестве исходного материала используют доломитовые руды и ферросилиций (ферросплав, главный элемент кремний и железо – также запасы имеются в КР в больших объемах). Восстановление ведут в ретортах под вакуумом, соединенных с кристаллизаторами. Реторты нагревают в электропечах. При нагреве материала до 1100-1200° С в вакууме магний восстанавливается, испаряется и конденсируется на стенках в кристаллизаторах [8-9].

Таблица 2 - Месторождения и проявления магниесодержащих руд КР

Наименование объекта	Запасы и ресурсы	Область
Джаромазсайское	27,5 млн т	Баткенская
Акшагыл	более 100 млн т	Баткенская
Газское	300 млн т	Баткенская
Аксуйское	215 млн т	Баткенская
Кан (серпентиниты)	7,0 млн т	Баткенская

Шуранское (магнезиты)	240 тыс. т	Баткенская
Кокирим	10 млн т	Джалал-Абадская
Арал	более 100 млн т	Джалал-Абадская
Шорго	8,1 млн т	Нарынская
Караталское	42,1 млн т	Нарынская
Эдиленкур	101,2 млн т	Нарынская
Теренго-Джалбыздинское	более 100 млн т	Нарынская
Акташ	более 100 млн т	Нарынская
Кавакское	9,1 млн т	Нарынская
Шамшалы (магнезит)	200 тыс. т	Ошская

Некоторые из приведенных в таблице залежей магнийсодержащих руд находятся в радиусе от 10 до 100 км от мест возможного строительства ГЭС на крупных реках в Нарынской и Джалал-Абадской областей.

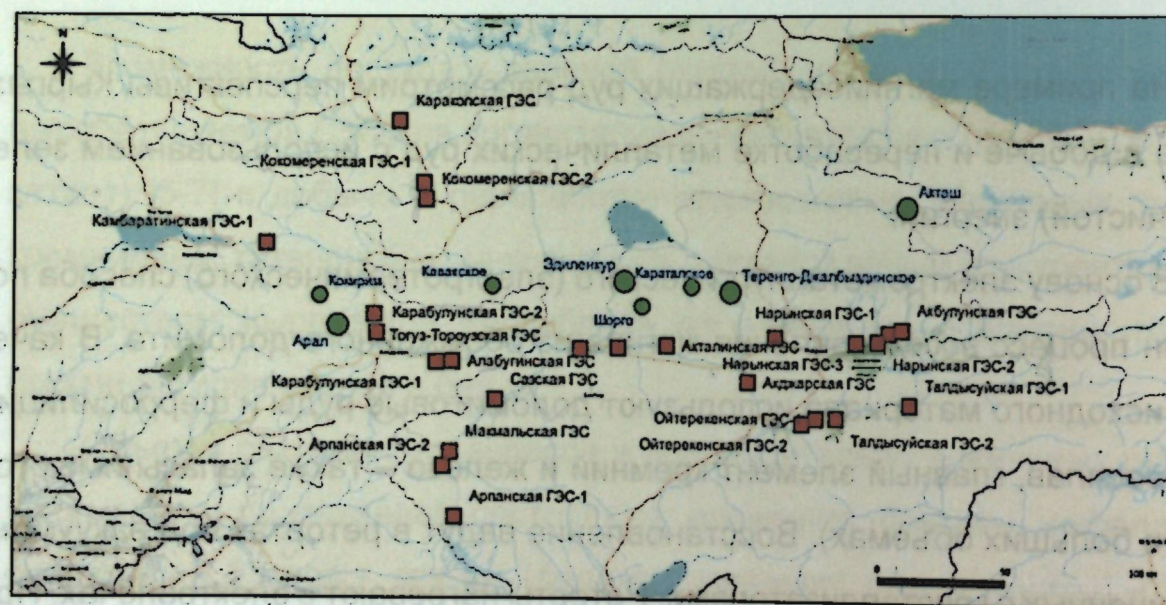


Рис. 3 - Месторождения магнийсодержащих руд и координаты перспективных створов крупных и средних ГЭС.

В работе [10] отмечается, что в республике наиболее высокими геолого-технологическими показателями обладают доломитовые руды месторождения Акташ. Предварительное изучение показало, что отсутствие примесей кварца, алюмосиликатов делает возможным использование доломита при производстве особо чистых веществ, в том числе металлического магния, наполнителей лекарств, бумаги, пластмасс и других продуктов.

Технология производства металлов электрометаллургическим (электротермическим) способом по сравнению с традиционными имеет ряд экологических достоинств: исключен выброс хлора и его соединений, а также образование производственных стоков, что является сильным фактором в плане минимизации вреда для окружающей среды. Хвосты производства можно использовать для выпуска цемента.

ВЫВОДЫ

Совместная работа гидроэнергетики и электрометаллургии имеет ряд преимуществ:

1. Наличие зеленой и дешевой энергии, вырабатываемой ГЭС, даст толчок к развитию энергозатратных металлургических производств – магниевого, алюминиевого, кремниевого, ферросплавного, медного, цинкового, титанового.
2. Привлечение многомиллиардных инвестиций в строительство крупных и средних ГЭС с гарантированной реализацией электроэнергии металлургическим заводам.
3. Превращение Кыргызской Республики в мирового игрока в выпуске энергоемких металлических товарных продуктов с явным конкурентным преимуществом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Critical Raw Materials: ensuring secure and sustainable supply chains for EU's green and digital future, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1661.
2. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0160>.

3. Мировые цены на металлический магний, <https://ru.investing.com/commodities/magnesium-99.9-min-china-futures-historical-data>.
4. Крупные и средние ГЭС Кыргызстана, <https://www.energo-es.kg/ru/o-kompanii/karta-deystvuyushchikh-i-perspektivnykh-ges-i-tes>.
5. Металлургия легких металлов: учебник для вузов / В.И. Москвитин, И.В. Николаев; Москва, 2005. – 416 с.
6. Ковтунов, А.И. Металлургия цветных металлов: учеб.-метод. пособие / А.И. Ковтунов, Т.В. Чермашенцева. – Тольятти: ТГУ, 2008. – 64 с.
7. Шкирмонтов А.П. Выплавка ферросилиция с позиции энерготехнологического критерия работы ферросплавной электропечи // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 8. С. 43–49.
8. Металлургия магния: учебное пособие / В.А.Лебедев, В.И.Седых. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. – 174 с.
9. Расчет технологического процесса производства магния силикотермическим способом Пиджена / сост. М.В.Белоусов, Д.В.Ракипов. – Екатеринбург: Изд. Урал. Ун-та, 2013. – 44 с.
10. Дженчураева А.В., Дженчураев Д.Д. Георесурсы неметаллорудного сырья Тянь-Шаня и их рациональное использование. Бишкек: Изд. КРСУ, 2021. – 370 с.

УДК 502/504: 55; 624.131

ИНДЕКСНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА РИСКОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩ НА ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ: ПРИНЦИПЫ И ПРОЦЕДУРЫ

Алёшин Ю. Г.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Рассмотрены принципы и процедуры метода анализа риска хвостохранилища и предложен вариант расчёта индексов: гибели людей, экономического ущерба в дальней и ближней зонах поражения, глобального воздействия.

Ключевые слова: Анализ риска, индексный метод, зона поражения.

ТООЛОРДУН КУЙРУКТАРЫ ҮЧҮН КОРКУНУЧТУУЛУККА ИНДЕКСТИ ТАЛДОО МЕТОДИ: ПРИНЦИПТЕР ЖАНА ПРОЦЕДУРАЛАР

Алешин Ю. Г.

КР УИАнын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Калдыктарды сактоочу жайлардын тобокелдигин талдоо ыкмасынын принциптери жана жол-жоболору каралып, индекстерди эсептөөнүн варианты сунушталган: адамдардын өлүмү, кыйроонун алыскы жана жакынкы зоналарында экономикалык зыян, глобалдык таасир.

Баштапкы сөздөр: Тобокелдиктерди талдоо, индекстик ыкма, жабыркаган аймак.

INDEX METHOD FOR ANALYZING THE RISKS OF TAILINGS DAM IN A MOUNTAINOUS AREA: PRINCIPLES AND PROCEDURES

Aleshin Yu. G.

Institute of Geomechanics and Development of Subsoil of the NAS KR

The principles and procedures of the method for tailings dam risk analyzing described, and calculation the indexes of loss of life and property in the far and near affected areas and the overall impact proposed.

Keywords: Risk analysis, index method, affected area.

Оценка безопасности заложения накопителей горнопромышленных отходов (ГПО) и их длительного хранения должна рассматриваться как отправная точка для анализа альтернативных решений восстановления старых объектов, в том числе как альтернатива полного бездействия. Выбор же предпочтительного варианта реабилитации является сложной задачей принятия решений, которая должна учитывать целый ряд факторов помимо радиационной и химической токсичности отходов. Например, в рамках экономических критериев необходим анализ прямых затрат на реабилитацию (оплата рабочей силы, расходных материалов эксплуатации оборудования и транспорта, создание дополнительных коммуникаций, как правило, временных, расходы на управление и т. д.). Помимо этого следует рассматривать социальные последствия: прямое воздействие на здоровье людей, удовлетворённость сообщества элементами действия или бездействия по реабилитации и ряд других факторов.

Вообще существует три основных критерия высшего / первого уровня для соответствующего управления любым объектом с утилизированными ГПО (рис. 1): воздействие на окружающую среду (ВОС), социальное влияние (СВ) и экономическое воздействие (ЭВ). ВОС обусловлено выбросом загрязняющих веществ из накопителей ГПО в атмосферу, подземные и поверхностные воды питьевого и хозяйственного назначения, которые могут нарушать функционирование водной биоты, жизнедеятельность местной флоры и фауны, сказываясь в конечном итоге на человеке. Как радиоактивные, так и токсичные химические загрязнения учитываются и измеряются в единицах дозы облучения или степени накопления химических элементов (их концентрации) в массе реципиентов живой и неживой природы. Дозы и воздействия, полученные из оценок безопасности, принимаются в качестве эталонных значений для альтернативы бездействия на площадке заложения хранилища ГПО, а варианты реабилитации должны оцениваться по отношению к изменениям этих доз и воздействий.

СВ оценивается по четырём направлениям. Здоровье и безопасность человека связывается как с физическим его поражением в случае аварии, так и с радиологическим или / и токсикологическим (химико-биологическим) воздействием. При этом радиологическое воздействие включает как внешнее (преимущественно гамма-облучение) так и внутреннее облучение, полученное в результате дыхания радиоактивных газов и аэрозолей, а также при заглатывании воды и пищи, загрязнённой радиоактивными компонентами. Токсикологическое / химическое воздействие осуществляется преимущественно за счёт процессов дыхания и заглатывания. При этом, рассматривая варианты реабилитации, нельзя забывать о дополнительных дозах облучения и / или химического воздействия, полученных как персоналом, занятым реабилитацией объектов, так и местным населением за весь период работ.

Удовлетворённость сообщества может быть выражена в том, как каждый его член, проживающий в зоне влияния накопителя ГПО, воспринимает предложенные альтернативы реабилитации: как самого хода её проведения, так и ожидаемых результатов. Оценка этих факторов воздействия может производиться по субъективной шкале.

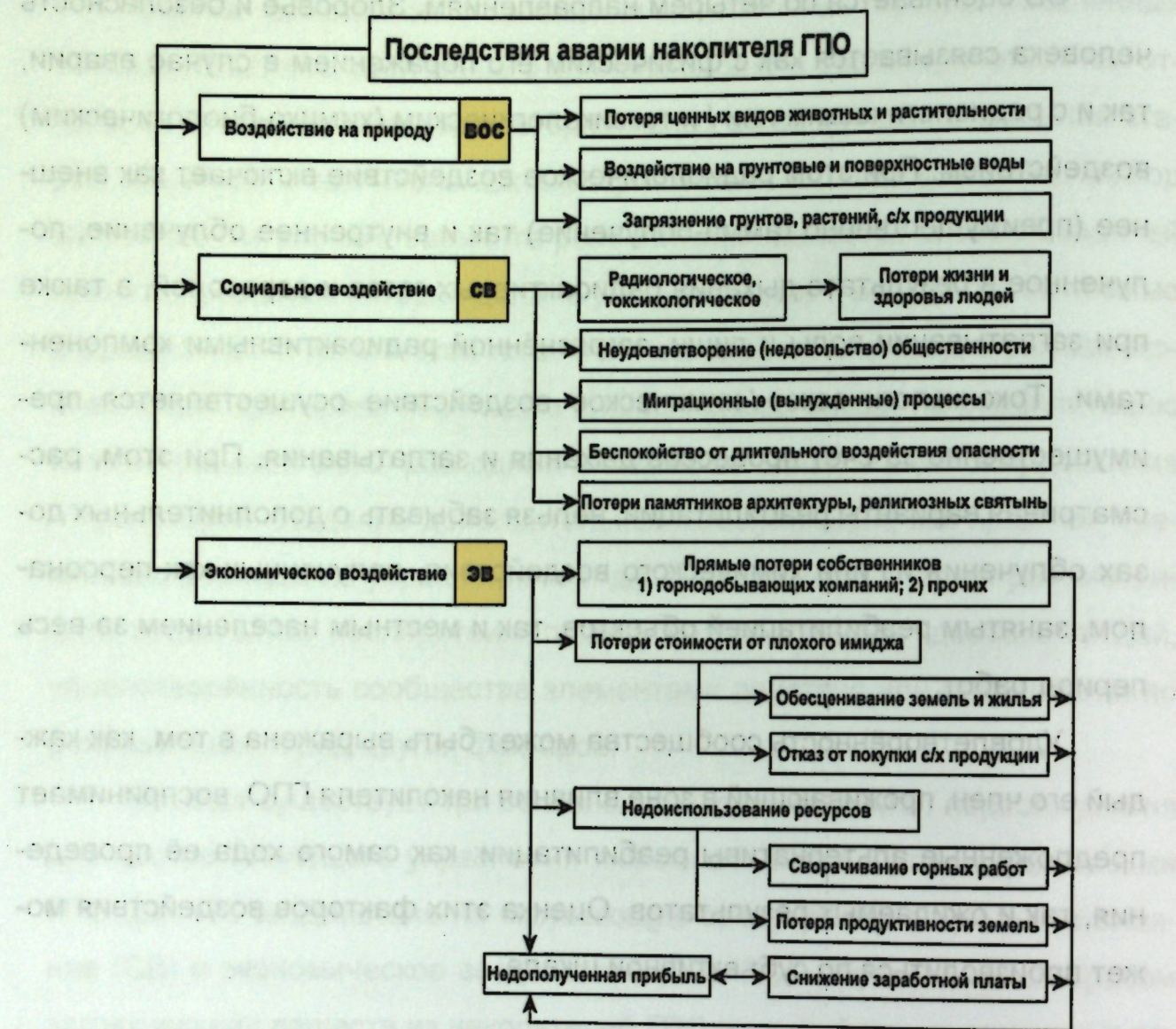


Рис. 1. Классификация воздействий при аварии накопителей ГПО

В группе факторов ЭВ прямые затраты относятся к технике и технологии реализации проекта по реабилитации; это денежный атрибут. Стоимость потерь или косвенные затраты, связанные с реализацией альтернативных вариантов реабилитации объектов, относятся к общественному восприятию, например, нежеланию покупать товары / продукты из районов размещения хранилищ ГПО, даже если они не загрязнены или падению туристического бизнеса, обесценивание земель и жилой недвижимости и т. д. Положительным фактором может явиться создание рабочих мест во время и после реализации проекта реабилитации, т. е. повышение занятости местного населения и дохода людей, а также прибыль, которая может быть

получена от реализации продуктов захоронения утилизированных отходов или продуктов их переработки. Эти показатели также могут быть выражены в денежных единицах.

В свете всего вышесказанного очевидна главная проблема оценки безопасности на территории размещения накопителя ГПО, а также выбора варианта его реабилитации: каким образом объединить большую группу разнородных показателей воздействий в виде алгоритма, матрицы или глобального показателя, однозначно определяющего как саму безопасность, так и создающего метрическую базу для сравнения между собой различных вариантов реабилитации, в том числе определяя её приоритеты на территории заложения некоторого множества подобных объектов. Принятие решений или оценка последствий аварий накопителей ГПО при таком комплексе разнородных факторов последствий представляет трудную и актуальную задачу специальных исследований в рамках логико-математического многокритериального анализа принятия решений (МКПР) в условиях неопределённости, в данном случае связанных изначально с механизмами и параметрами физико-механического и гидрологического процесса аварии. Структурирование и упрощение решений [1] чаще всего осуществляют исходя из вероятностей возможных факторов последствий и предпочтений при их отборе. Существующая априорная информация, собранные на месте данные, модели, профессиональные суждения используются для количественной оценки вероятностей последствий, а теория полезности – для количественной оценки предпочтений.

Одним из методов, широко применяемых в системах управления промышленной безопасностью, является использование анализа рисков, для которого применяются аналитические, итеративные, описательные и качественные методы, такие как FMEA ("Анализ характера и последствий отказа" – "Failure Modes and Effects Analysis"), для выявления и анализа потенциальных разрушений, исходя из определённого режима отказа, его при-

чин и последствий, а также средств обнаружения и предотвращения режимов отказа и смягчения их последствий. Этот метод был использован в Бразилии для оценки безопасности состояния хвостохранилищ, а также предложен для анализа безопасности гидротехнических объектов в России [2,3,4,5]. В то же время в Европе был разработан специальный инструмент для анализа рисков дамб – полуколичественной метод LCI ("Анализ по диаграммам расположения, причинам и индикаторам отказов" – "Analysis by Diagrams Location, Cause and Failure Indicators") [6], который применялся в Великобритании под названием "Управление рисками для водохранилищ в Великобритании" и в Европе, но не для хвостохранилищ. Недавно была предложена версия LCI-MOD-REJ – адаптация метода LCI, которая была применена к одному из бразильских хвостохранилищ для прямого анализа рисков этого типа сооружений.

Ещё недавно (25–30 лет назад) методики оценки рисков, разработанные для использования в других отраслях промышленности и науки, не применялись к дамбам и хранилищам ГПО на регулярной основе. Согласно А. Hughes et al. [6] этот факт может объясняться следующими причинами: недостаточность данных, уникальный характер каждой дамбы, сложные взаимодействия с окружающей природной средой, вмещающим горным массивом, связанные с поведением хвостохранилищ и материала "хвостов", неправильное восприятие незначительного риска разрушения дамбы, обеспокоенность по поводу стоимости оценки риска, скептицизмом, трудностями в понимании или применении результатов, полученных при любой форме оценки риска и, наконец, отсутствием знаний о методах оценки риска со стороны различных специалистов, связанных с утилизацией горнопромышленных отходов.

Метод LCI был разработан для оценки индивидуальной опасности, уязвимости и приобретённых знаний об этих сооружениях на основе анализа их характеристик в индексных показателях. В выполненной нами ра-

боте мы попытались адаптировать этот метод применительно к хвостохранилищам Кыргызстана, как находящихся в эксплуатации, так и в законсервированном состоянии в зоне развития селевых, паводковых и оползневых процессов, что существенно увеличивает риски их разрушения.

А. Hughes et al. [6] подготовили серию диаграмм местоположения, причин и индикаторов (LCI) на основе известных видов разрушений различных типов дамб, статистических данных и инженерных оценок существующих дамб при помощи метода "Анализа характера, последствий и важности отказов" – метода FMECA. Каждый анализ диаграммы LCI выполняется на основе характеристик плотины, таких как: тип (бетонная или насыпная), высота (менее 15, 15–30, более 30 м) и возраст (до 1840, между 1840 и 1960, после 1960 года). Следует заметить, что метод FMECA дополняет FMEA и представляет собой системный подход для анализа того, как система может выйти из строя (режим отказа), для определения последствий, связанных с каждым режимом отказа, и для оценки вероятности возникновения отказа и степени его влияния на работу системы через индекс критичности (насколько критичным будет этот тип отказа для работы системы).

Для характеристики причин и показателей, как отмечали А. Hughes et al., использовались три категории баллов (баллы в каждой – от 1 до 5):

- 1) эффекты или последствия в системе (Cons.) для отражения того, как разрушение элемента напрямую связано с полным (или частичным) разрушением дамбы;
 - 2) вероятность (Like.), соответствующая вероятности разрушения элемента;
 - 3) степень уверенности (Conf.) аналитика в последствиях и его вероятностных оценках для учёта неопределённостей в изученности дамбы или её компонентов; этот фактор позволяет учитывать меру неопределённости.
- В ходе этого процесса последствия в нижнем бьефе оцениваются с помощью индекса глобального воздействия (G/I), а произведение баллов по каждой категории (Cons., Like., Conf.) даёт индекс критичности для каждого

набора причин или показатели проблем, связанные с элементами дамбы. Произведение индексов GII и индекса критичности даёт оценку (балл) риска. Результатом является диаграмма "Местоположение—причина—индикатор" (LCI) указывающие проблемные области, список критичности, и оценки (баллы) рисков, связанных с причинами конкретных проблем и индикаторами, позволяя расставить приоритеты ресурсов для одной или нескольких площадок. Этапы этого метода:

Этап 1: Оценка воздействий, которая включает: сбор информации, осмотр объекта, прогноз выброса и потенциального уровня паводковых потоков в результате разрушения дамбы, оценку и подсчёт числа баллов конкретных последствий от затопления и подсчёт баллов.

Этап 2: Расчёт индекса глобального воздействия путём сокращения различных показателей воздействия до одного значения.

Этап 3: Разработка и применение диаграммы LCI с учётом компонентов дамбы и их вклада в возможное разрушение. Рассматривается разрушение дамбы по разным причинам и с разными показателями. Балл критичности рассматривается для каждой причины / показателя каждого элемента, учитываемого в общей безопасности дамбы.

На первом этапе информация собирается на протяжении 30 км ниже дамбы, включая основные характеристики заселённости, наличие сооружений и объектов инфраструктуры, а также приходные ресурсы. Рекомендуется провести инспекционный осмотр ближней части долины на протяжении первых 5 км от дамбы.

Выявление последствий включает оценку выброса "хвостов" через конкретную секцию дамбы, времени прорыва и уровней, которых достигает паводковая волна в заранее определённых участках долины. Для расчёта гидрографов вдоль долины используются численные модели прорыва дамбы или упрощённые методы, как это показали A. Hughes et al. [6]. После оценки долины и уровня воды ниже по течению, на который влияет паводковая волна, приступают к реализации Этапа 2, в ходе которого оценивают

индекс глобального воздействия (GII) путём взвешенной комбинации потенциальной гибели людей (PLL) и экономического ущерба (EL) на ближайшей части долины (первые 5 км) и на остальной части долины (до 30 км).

Для расчёта PLL число подвергавшихся опасности людей (PAR) рассчитывается с учётом типов занятий на земле, т. е. жилой недвижимости, нежилой недвижимости, транспортной инфраструктуры, мест отдыха и развлечений, потенциального затронутых затоплением, с учётом оценок, представленных в таблице 1. Формально PLL рассчитывается по следующим уравнениям:

$$PLL = 0,5 PAR \text{ (в ближней зоне долины)} \quad (2.3)$$

$$PLL = (PAR)^{0,6} \text{ (в дальней зоне долины)} \quad (2.4)$$

Числовое значение для EL получается из взвешенной суммы баллов, связанных с потерями в ближней и дальней частях долины, при этом используются следующие весовые коэффициенты: 0,15 — для жилой недвижимости; 0,15 — для нежилой недвижимости; 0,10 — для объектов транспортной инфраструктуры; 0,05 — для рекреационных объектов; 0,25 — для промышленных площадок; 0,25 — для инженерных сооружений; 0,05 — для сельскохозяйственных регионов и природной среды.

После этого GII определяется уравнением

$$GII = 100 (EL_{<5 \text{ км}}) + (PLL_{<5 \text{ км}}) + 30 (EL_{5-30 \text{ км}}) + PLL_{5-30 \text{ км}} \quad (2.5)$$

После расчёта GII на следующем Этапе 3 проводится классификация причин и последствий с применением диаграмм LCI для оценки и классификации индексов ординации, достоверности, критичности и риска.

Причины и индикаторы аварий классифицируются по шкале от 1 до 5 с использованием выше описанных трёх атрибутов.

(1) — последствия на дамбе (Cons. 1 — низкие, 5 — высокие);

(2) — вероятность (Like. 1 — низкая, 5 — высокая);

(3) – степень доверия (Conf. 5 – низкая; 1 – высокая) к информации о состоянии объекта / элемента объекта.

Согласно Hughes [6], Caldeira [7], Pimenta [8,9] после классификации атрибутов можно рассчитать четыре индекса для каждого набора "Местоположение– причина–индикатор":

(1) – Индекс ординации (Ind.Ord.), который определяется произведением присвоенных рейтингов "Последствия" и "Вероятность";

(2) – Индекс доверия (Ind.Conf.), равный показателю доверия; чем он выше, тем более сомнительна информации; о состоянии и качестве объекта, тем более она неопределённая;

(3) – Индекс критичности (Ind.Crit.), определяемый произведением рейтингов присвоенных "Последствиям", "Вероятности" и "Доверию";

(4) – Индекс риска (Ind.Risk.), определяемый произведением индекса критичности и индекса глобального воздействия.

Адаптивная версия метода LCI – версия (LCI-MOD-Tail) предлагается нами для того, чтобы приспособить вышеупомянутую структуру, разработанную специально для дамб вообще любых гидротехнических сооружений (первоначально – для водохранилищ), к более конкретный области, чтобы сосредоточиться на оценке риска хвостохранилищ, включив этап "накопление хвостов" в общий анализ. Основная цель такой адаптивной версии заключается в выявлении структурных элементов, которые в наибольшей степени способствуют полному разрушению дамб хранилищ.

Pimenta B.M.L. [8] не рекомендует переходить ко второму этапу процедуры, когда индекс GII ниже 175, и поэтому нет необходимости оценивать индекс ординации (Ind.Ord.), индекс критичности (Ind. Crit.), индекс доверия (Ind. Conf.) и индекс риска (Ind. Risk). Однако, основываясь на более консервативном подходе в версии LCI-MOD-Tail, следует оценивать всегда виды аварий и уровни риска. Хвостохранилища не всегда эффективно контролируются в процессе строительства, после вывода из эксплуатации и консервирования, тем более в законсервированном состоянии. Сами хвосты, в

свою очередь, имеют характеристики, изменяющиеся со временем, что делает контроль качества конструкции ещё более необходимым. Поскольку на практике пока нет систематического контроля этих сооружений, особенно в малых и средних горнодобывающих компаниях, то полезно всегда применять предлагаемую версию LCI-MOD-Tail на протяжении всех трёх вышеупомянутых этапов. В рассмотренных диаграммах в элемент "Местоположение" с его подразделами "Тело дамбы, основания и опоры" и "Водосброс и его компоненты" как в оригинальном методе LCI необходимо добавлять элемент "Пруд хвостохранилища", а в законсервированном объекте – "Чаша хвостохранилища".

Таблица 1. Экономический ущерб (EL) и люди, подвергающиеся опасности (PAR) по A. Higeys et al. [42]

Воздействие 1 – Жилая недвижимость			
Затопленные объекты	Количество затопленных объектов	Баллы	PAR
Нет			
Минимальное число	0	0	0
Заметное число	от 1 до 15	1	30
Значительное число	от 16 до 50	2	100
Крупное затопление	от 51 до 250	3	500
	от 251 до 500	4	2-кратная оценка
	>500		
Воздействие 2 – Нежилые объекты			
Разрушения	Число поражаемых людей	Баллы	PAR
Нет	0	0	0
Минимальные	от 1 до 150	1	150
Заметные	от 151 до 500	2	500
Значительные	от 501 до 1000	3	1000
Большие	>1000	4	Оценка исследователей
Воздействие 3 – Транспортная инфраструктура			
Разрушения	Инфраструктурные поражения	Баллы	PAR
Нет	Нет	0	0
Минимальные	Только второстепенные	1	25
Заметные	Большие региональные	2	50
Значительные	Большие национальные	3	100
Большие	Большие международные	4	Оценка исследователей
Воздействие 4 – Места отдыха, развлечений			
Разрушения	Число пострадавших	Баллы	PAR
Нет	0	0	0

Минимальные	от 1 до 10	1	10
Заметные	от 11 до 50	2	50
Значительные	от 51 до 100	3	100
Большие	>100	4	Оценка исследователей

Воздействие 5 – Промышленные площадки			
Разрушения	Тип промышленной площадки	Баллы	PAR
Нет	Нет	0	0
Минимальные	Лёгкая промышленность	1	20
Заметные	Объекты здравоохранения	2	50
Значительные	Тяжёлая промышленность	3	100
Большие	Ядерная / нефтехимическая	4	Оценка исследователей

Воздействие 6 – Объекты обслуживания, инженерные коммуникации			
Разрушения	Влияние на коммунальные службы	Баллы	PAR
Нет	Нет	0	0
Минимальные	Локальные потери распределения	1	5
Заметные	Локальные потери снабжения	2	10
Значительные	Региональные потери распределения / снабжения	3	20
Большие	Значительные последствия на национальном уровне	4	Оценка исследователей

Воздействие 7 – Сельскохозяйственные угодья / места обитания			
Определение	Тип площадки	Баллы	PAR
Нет	Неиспользуемые	0	0
Минимальное	Пастбища, луга	1	2
Заметное	Развитое с/х производство	2	10
Значительное	Интенсивное использование земель	3	30
Большое	Потери международные, региональные, трансграничные	4	100

В следующей работе автора будет продемонстрирована техника вычислений и проведён анализ результатов оценки риска заложения одного из хвостохранилищ на берегу горной реки в Майлуу-Суу с использованием рассмотренной выше методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belton, V. Multiple criteria decision analysis – practically the only way to choose // L.C. Hendry and R.W. Englese (eds.), Operational Research Tutorial, Birmingham: Operational Research Society. – 1990. – с. 53–101

2. Espósito T., Palmier L. R. Application of risk analysis methods on tailings dams //Soils and Rocks, São Paulo. – 2013. – Т. 36. – №. 1. – С. 97-117.
3. Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений СТП ВНИИГ 210.02.НТ-04. СПб. Изд-во ОАО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2005. – 100 с.
4. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов / Постановление Госгортехнадзора РФ № 30 от 10.07.2001. М.: Госгортехнадзор РФ, 2001.
5. 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. doi: 10.3390/min12030293
6. 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.
7. Caldeira L. Análise de Risco em Geotecnia. Aplicação a Barragens de Aterro //Programas de Investigação e de Pós-Graduação na Área Científica de Mecânica de Solos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. – 2005. – Т. 248.
8. Pimenta Baptista M. L. Abordagens de riscos em barragens de aterro //Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa. – 2009. – Т. XXVI – 534 с.
9. Pimenta L., Caldeira L., Silva Gomes A. Análise de riscos da ensecadeira de Odelouca. Aplicação de uma metodologia simplificada com base em diagramas LCI //Seminário de Barragens Tecnologia, Segurança e Interacção com a Sociedade. – 2005. – Т. 4. – С. 609-627.

УДК 627.8.064.3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

Ким Э.А.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В статье проанализированы различные мероприятия по регулированию положения кривой депрессии, т.к. одним из основных факторов обрушения является фильтрация водного потока через тело дамбы. Выполнены статические и сейсмические расчеты устойчивости с применением дренажных устройств.

Ключевые слова: кривая депрессии, коэффициент фильтрации, дамба, пленочный экран, горизонтальный дренаж, асфальтобетонная диафрагма, сейсмика.

ГИДРОТЕХНИКАЛЫК КУРУЛУШТУН ФИЛЬТРАЦИЯЛЫК ЧЫГЫМЫН КАМСЫЗ КЫЛУУ

Ким Э.А.

Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту КР УИА

Макалада депрессия ийри сызыгынын абалын жөнгө салуу үчүн ар кандай чараларды талдоо, бери кыйроонун негизги факторлорунун бири суу агымынын дамбанын тулкусу аркылуу фильтрацияланышы болуп саналат. Статикалык жана сейсмикалык туруктуулукту эсептөө дренаждык түзүлүштөрдү колдонуу менен жүргүзүлдү.

Баштапкы сөздөр: ойдуң ийри сызыгы, фильтрация коэффициенти, дамба, пленка экраны, горизонталдык дренаж, асфальтобетондук диафрагма, сейсмикалык.

ENSURING THE FILTRATION STRENGTH OF THE HYDRO-ENGINEERING STRUCTURE

Kim E.A.

Institute of geomechanics and development of a subsoil of National academy of Sciences K.R.

The article analyzes various measures to regulate the position of the depression curve, since one of the main factors of collapse is the filtration of the water flow through the body of the dam. Static and seismic stability calculations were performed using drainage devices.

Key words: drawdown curve, filtration coefficient, dam, film screen, horizontal drainage, asphalt concrete diaphragm, seismic.

Построение депрессионной поверхности и определение параметров фильтрационного потока необходимы для правильного конструирования плотины, особенно ее низового клина, получения данных о фильтрационных силах, необходимых для проведения статических расчетов по определению устойчивости откосов, правильного размещении грунтов в теле плотины с целью обеспечения ее фильтрационной прочности.

В процессе исследований необходимо разработать методические основы по выбору устойчивых конструкций дамб с учетом фильтрационных свойств грунтов пионерной дамбы и основания.

Научные исследования в данном направлении позволят подойти к правильному выбору типа и конструирования дренажных устройств [1].

Объектом исследований выбрана модель, состоящая из пионерной дамбы (песок глинистый) и основания (суглинок непросадочный). Физико-механические свойства представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Свойства	Основание	Дамба	Пульпа
Плотность, kN/m^3	16	17	17
Сцепление, kN/m^2	0,8	3	0,8
Угол внутреннего трения, град.	19	22	14
Коэффициент фильтрации, м/сут	10	8	5e-5

Статический расчет на программе Slide показал, что кривая депрессии проходит через тело пионерной дамбы и она неустойчива ($K_u=0,883$).

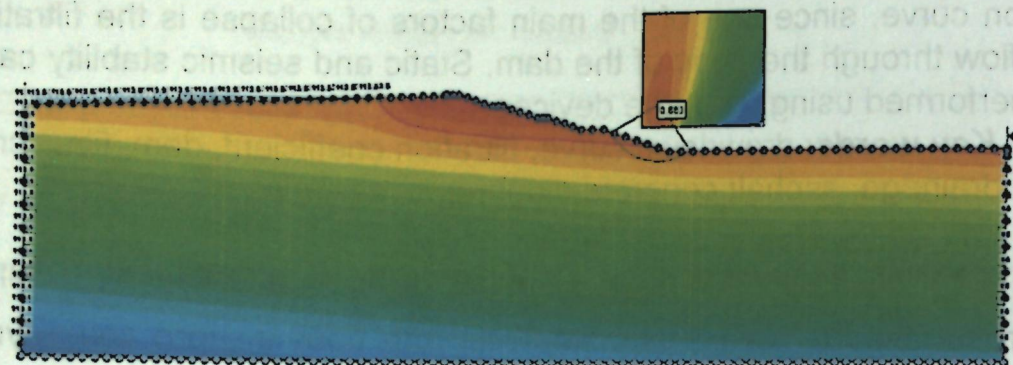


Рис. 1 – Фильтрационная схема дамбы в условиях статики.

Далее во всех расчетах была введена сейсмическая нагрузка 8 баллов. Как известно, расчетный коэффициент сейсмичности в данном случае равен 0,05 (рис. 2).



Рисунок 2 - Расчет устойчивости с учетом сейсмики 8 баллов.

Очевидно, что коэффициент устойчивости еще ниже ($K_y = 0,734$) и требуются мероприятия по регулированию положения кривой депрессии для обеспечения надежной эксплуатации сооружения.

Для обеспечения фильтрационной прочности рассматриваемого гидротехнического сооружения рассматривались следующие мероприятия.

Заложение пленочного экрана вдоль основания и левого откоса пионерной дамбы

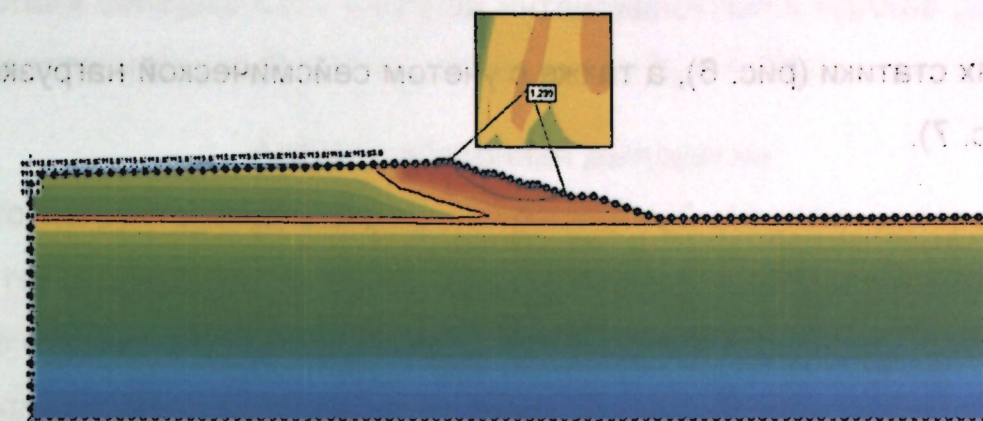


Рис.3 - Расчет устойчивости дамбы с заложением пленочного экрана в условиях статики.

Как видно, кривая депрессии огибает контур пионерной дамбы и, таким образом, обеспечивается устойчивость конструкции с $K_y = 1,299$.

Сейсмический расчет (рис. 4) дал показания устойчивости на уровне предельного равновесия – 1,071 [2].

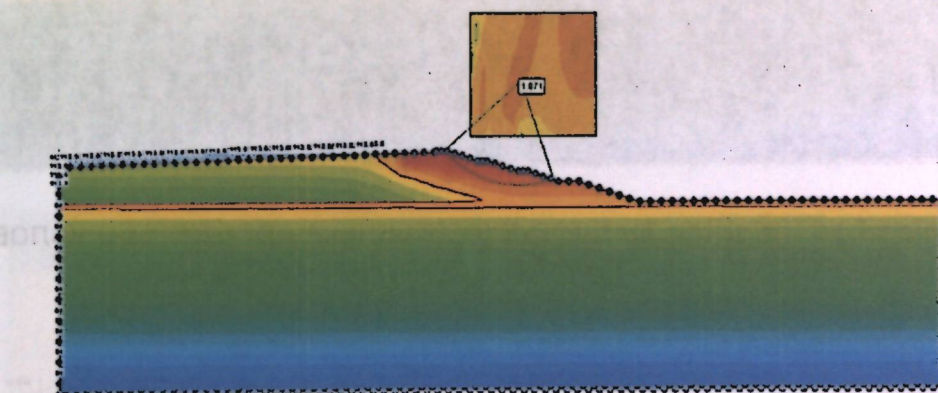


Рис.4 - Расчет устойчивости дамбы с заложением пленочного экрана и с учетом сейсмики 8 баллов.

Использование плоского горизонтального дренажа

Горизонтальный дренаж будет представлять собой гравийно-галечный прослой, мощностью 0,5 м, заложенный под подошвой пионерной дамбы на основании хвостохранилища. Коэффициент фильтрации гравийно-галечного грунта – 22 метра в сутки (рис. 5). Расчеты проводились в

условиях статики (рис. 6), а также с учетом сейсмической нагрузки в 8 баллов (рис. 7).

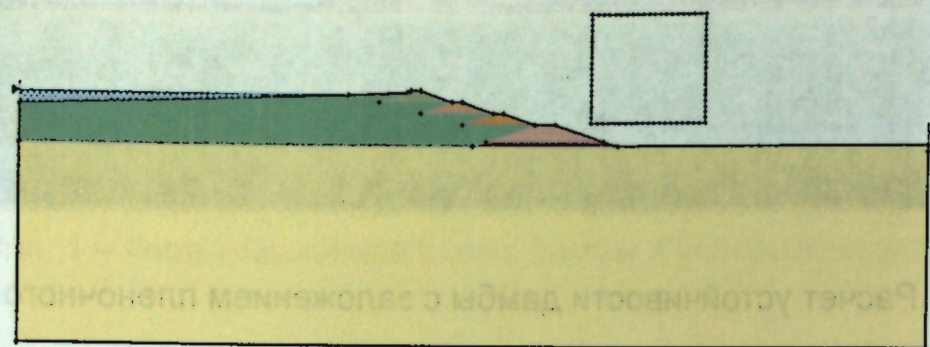


Рис. 5 - Схема расчетной модели с горизонтальным дренажем.



Рис.6 – Расчет устойчивости с горизонтальным дренажем в условиях статики.

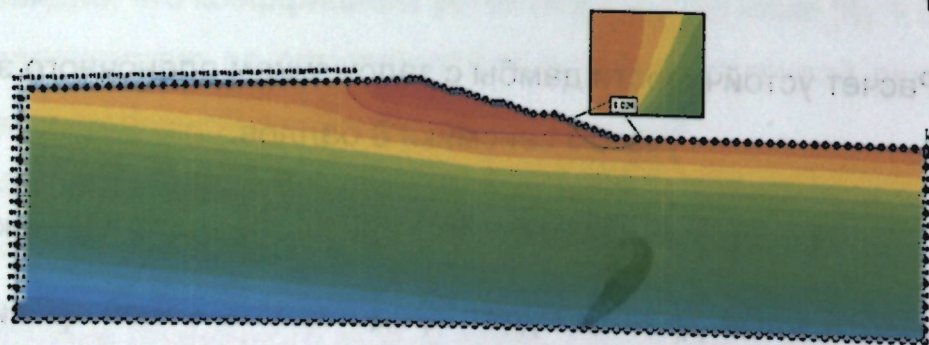


Рис. 7 – Расчет устойчивости с горизонтальным дренажем с учетом сейсмики 8 баллов.

В результате закладки горизонтального дренажа понизилась кривая депрессии и сооружение в условиях статики устойчиво с $K_y = 1,231$. При

воздействии сейсмической нагрузки интенсивностью 8 баллов дамбы приходят к состоянию предельного равновесия с $K_y = 1,026$.

Асфальтобетонная диафрагма

Это негрунтовый противофильтрационный элемент, который применяют в тех случаях, когда в районе строительства гидротехнического объекта отсутствуют грунты, пригодные для создания водоупорных элементов, или когда это диктуется соображениями удобства технологии возведения сооружения [3]. При расчетах деформаций асфальтобетонных диафрагм следует считать, что они водонепроницаемы и полностью воспринимают гидростатическое давление воды со стороны верхнего бьефа.

Были приняты следующие физические параметры асфальтобетонной диафрагмы: заложена вертикально по центральной части пионерной дамбы (рис. 32); толщина диафрагмы — 1 м; плотность 25 кН/м^3 ; $C=230 \text{ кН/м}^2$; $F_i=25^\circ$, $K_f=0,05 \text{ м/сутки}$ (рис. 8).

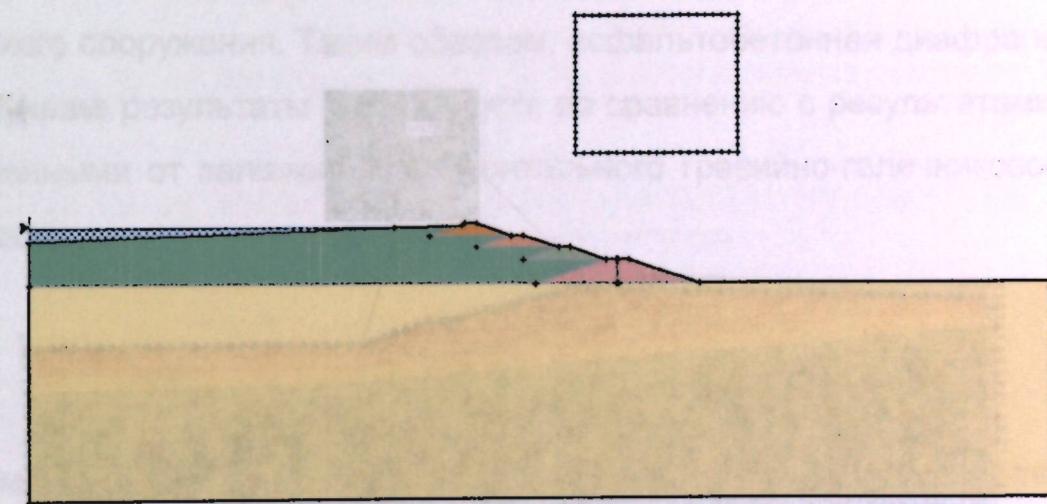


Рис. 8 - Схема расчетной модели с асфальтобетонной диафрагмой.

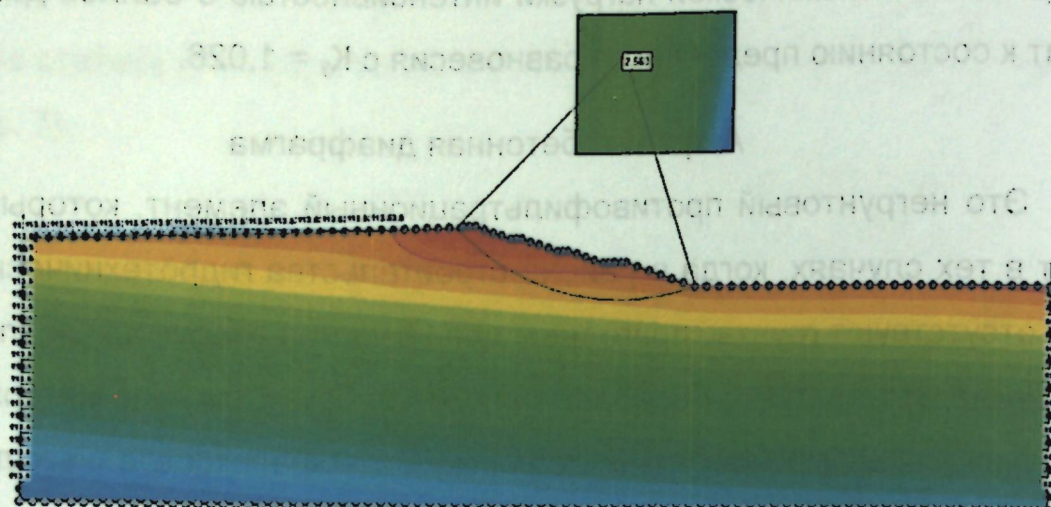


Рис. 9 – Расчет устойчивости с вертикальным дренажем в условиях статики.

Статические и сейсмические результаты расчетов с $K_y = 2,563$ $K_y = 2,096$ соответственно полностью обеспечивают надежную работу гидротехнического сооружения (рис. 9-10).

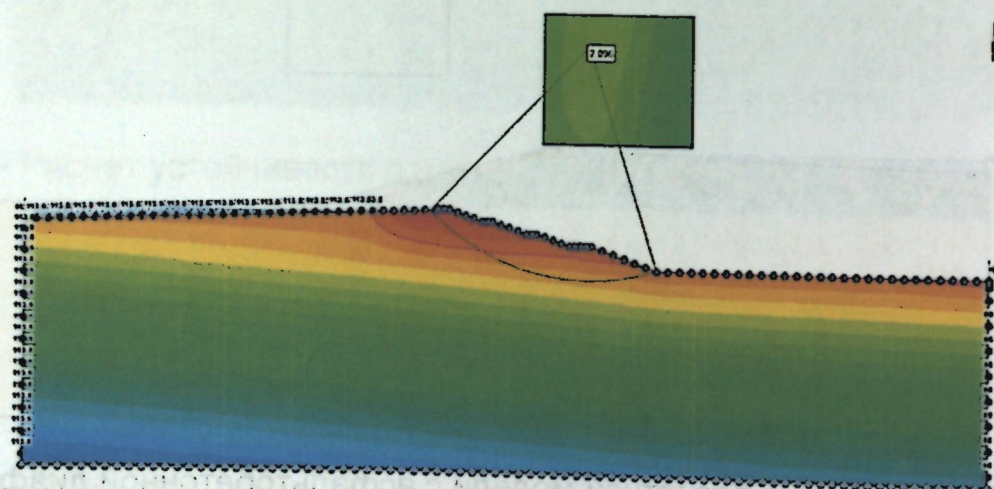


Рис. 10 – Расчет устойчивости с вертикальным дренажем с учетом сейсмики 8 баллов.

Выводы

1. Исследования показали, что основным фактором обрушения является фильтрация водного потока через тело дамбы. То есть необходимы ме-

роприятия по регулированию положения кривой депрессии. Эффективность работы дренажа - это основное условие, определяющее надежность работы плотины.

2. Заложение пленочного экрана вдоль основания и левого откоса пионерной дамбы с учетом сейсмического воздействия повысило устойчивость дамб до 1,071 (против 0,734 без пленки).
3. Горизонтальный дренаж из гравийно-галечного прослая под пионерной дамбой на основании из непросадочного суглинка обеспечил устойчивость $K_y = 1,026$. То есть пленочный экран и горизонтальный дренаж не дают достаточного запаса прочности рассматриваемого гидротехнического сооружения.
4. Применение негрунтового противофильтрационного элемента в виде асфальтобетонной диафрагмы привело к следующим результатам. Статические и сейсмические результаты расчетов с $K_y = 2,563$ и с $K_y = 2,096$, соответственно, обеспечивают надежную работу гидротехнического сооружения. Таким образом, асфальтобетонная диафрагма дает лучшие результаты устойчивости по сравнению с результатами, полученными от заложения горизонтального гравийно-галечникового дренажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ким Э.А. Обоснование выбора конструкций дамб хвостохранилищ, расположенных в сейсмически активных регионах // Современные проблемы геомеханики. Актуальные проблемы геомеханики, геотехнологии и геоэкологии. Научно-технический журнал № 44 (2). – Бишкек, 2021. – С. 147-152.
2. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах.
3. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. М.: Энергоатомиздат, 1987. 304 с.

УДК 551.550

НОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РОЛИ ГЛИН В ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГЕОМАССЫ ОПОЛЗНЯ

Воробьев А.Е.¹, Кожоголова Г.К.²

¹Грозненский государственный нефтяной технический университет,
г. Грозный, РФ;

²Научная станция НАН Кыргызстана, г. Бишкек, КР

Представлена новая интерпретация роли глин в перемещении геомассы оползня. Детализирована структура глин на наноуровне. Дана сводка физико-химических свойств наночастиц глины, таких как наноформы, удельная площадь поверхности, дзета-потенциал и т.д. Показано, что слой наноразмерных частиц в горной массе оползня существенно влияет на качественные-количественные характеристики его перемещения. Однако их исследования все еще находятся на ранней стадии.

Ключевые слова: оползни, перемещение, горная масса, наночастицы, механизм

ЖЕР КӨЧКҮНҮН ГЕОМАССАСЫН ЖЫЛДЫРУУДА ЧОПОЛОРДУН РОЛУН ЖАҢЫ ЧЕЧМЕЛӨӨ

Воробьев А.Е.¹, Кожоголова Г.К.²

¹Грозный мамлекеттик мунай техникалык университети

²Бишкектеги Россия Илимдер академиясынын илимий станциясы

Жер көчкүнүн геомассасын жылдырууда чополордун ролун жаңы чечмелөө сунушталды. Чополордун түзүлүшү нанодөңгөздө деталдаштырылган. Наноформалар, бетинин салыштырма аянты, дзета потенциалы ж.б. сыяктуу чопо нанобөлүкчөлөрүнүн физикалык-химиялык касиеттеринин кыскача баяндамасы берилди. Бирок, алардын изилдөөлөрү дагы эле алгачкы этапта.

Баштапкы сөздөр: жер көчкү, жылышуу, тоо массасы, нанобөлүкчөлөр, механизм

A NEW INTERPRETATION OF THE ROLE OF CLAYS IN THE MOVEMENT OF LANDSLIDE GEOMASS

¹Vorobyev A.E., ²Kozhogulova G.K.

¹Grozny State Oil Technical University

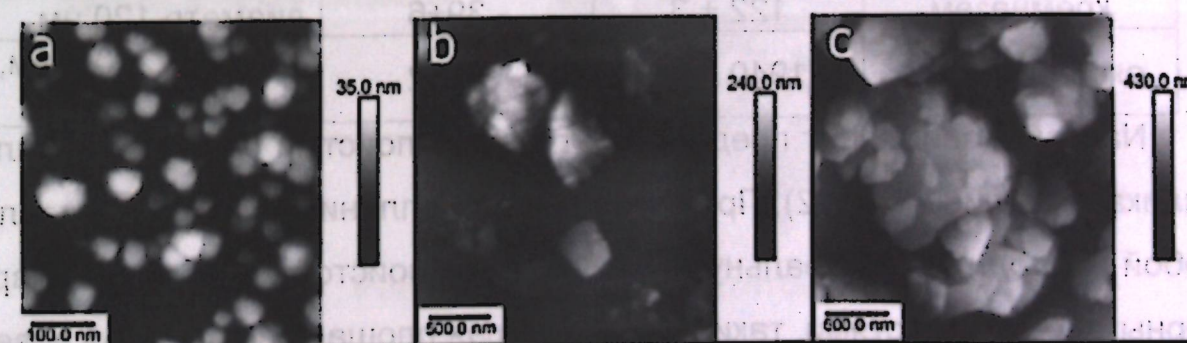
²Scientific Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek

A new interpretation of the role of clays in the movement of landslide geomass is presented. The structure of clays at the nanoscale is detailed. A summary of the physicochemical properties of clay nanoparticles, such as nanoforms, specific surface area, zeta potential, etc. is given. It is shown that the layer of nanoscale particles in the rock mass of a landslide significantly affects the qualitative and quantitative characteristics of its movement. However, their research is still at an early stage.

Keywords: landslides, displacement, rock mass, nanoparticles, mechanism

Введение. Роль глин в передвижении горной массы оползня изучалась многими исследователями, но лишь с развитием электронной техники визуализации нанообъектов появилась возможность исследовать глины, как объекты, состоящие из нанослоев и сложенные наночастицами [1-5]. Такой подход позволяет получить принципиально новые физико-химические характеристики и особенности глин, способствующие активному передвижению геомассы оползней.

Основная часть. Наноглины представляют собой мелкозернистые кристаллические материалы. Огромное разнообразие этих природных наноматериалов сделало доступной для исследователей и практиков весьма обширную коллекцию глин (рис. 1), имеющих довольно различные физические и химические свойства (табл. 1).



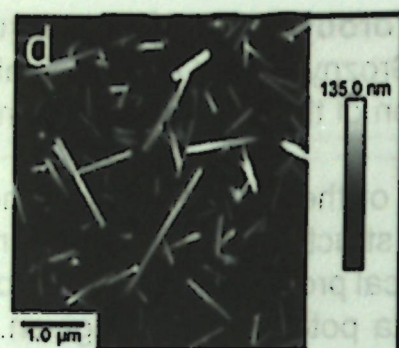


Рис. 1. Типичные АСМ-изображения [8]:

а) бентонита; б) монтмориillonита; в) каолина; г) галлуазита

Таблица 1 Гидродинамические диаметры, значения дзета-потенциала и измеренные АСМ размеры частиц наноглины, наносфер кремнезема и наночешуек оксида графена

Частицы	Гидродинамический диаметр, нм	Зета-потенциал, мВ	Измеренные размеры
галлуазит	510 ± 12	-25 ± 3	диаметр 50 нм, длина 400-1500 нм
каолин	930 ± 22	-36 ± 1	ширина 300-700 нм, толщина 30-100 нм
монтмориillonит	1600 ± 60	-29 ± 1	ширина 300-600 нм, толщина 10-50 нм
бентонит	3040 ± 660	44 ± 2	ширина 4 мкм, 100 нм толщиной
кремнезем	122 ± 3	-39 ± 6	диаметр 120 нм
оксид графена	1940 ± 90	-47 ± 2	ширина 2000 нм, толщина 2-10 нм

На-монтмориillonит представляет собой слоистый смектит из филлосиликатной глины (рис. 2). При этом, монтмориillonит (ММТ) представляет собой природную минеральную глину [8], со слоистой структурой и характерными особенностями, такими как большая площадь внутренней поверхности и емкость катионного обмена (СЕС), а также высокая абсорбционная способность.

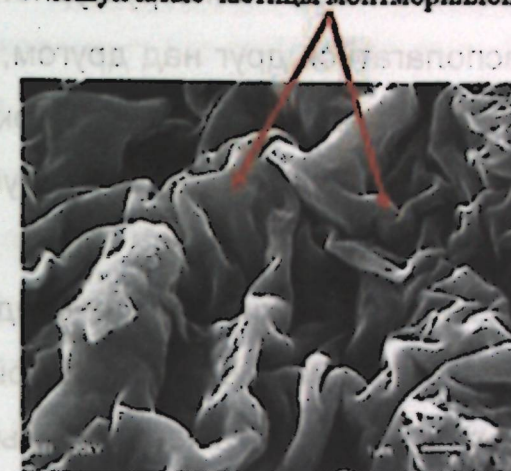


Рис. 2. СЭМ-изображение монтмориillonита [6]

В случае смектитов (рис. 3) октаэдрический лист оксидов металлов зажат между двумя тетраэдрическими листами кремнезема. В тетраэдрическом листе кремнекислородные тетраэдры связаны с соседними тетраэдрами общими тремя углами, в то время как четвертый угол каждого тетраэдра образует часть соседнего октаэдрического листа. Октаэдрический лист обычно состоит из алюминия или магния в шестикратной координации с кислородом из тетраэдрического листа и с гидроксидом.

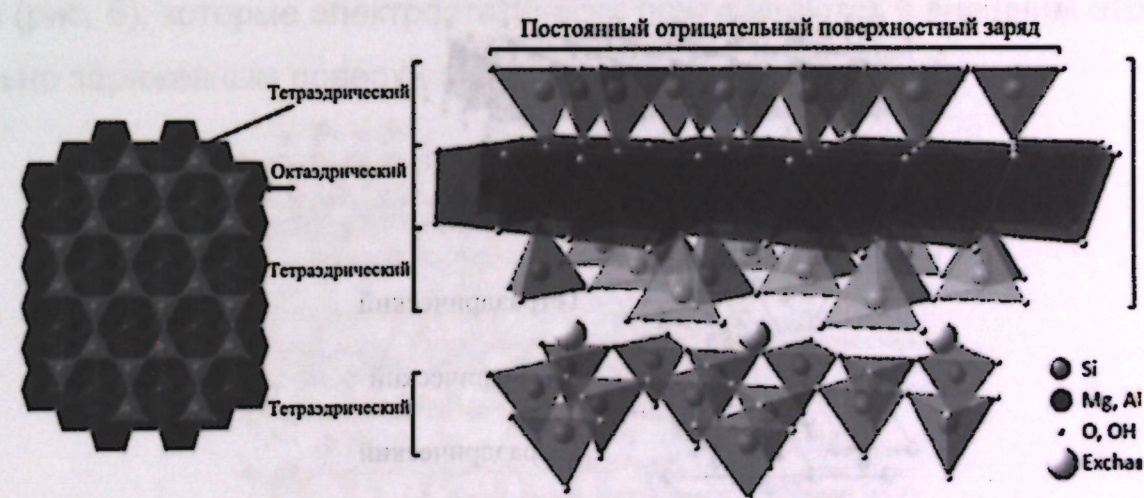


Рис. 3. Строение смектитов [8]:

Глины образованы слоистыми тетраэдрическими (Т) и октаэдрическими (О) пластинами

Отдельный слой является основной структурной единицей наноглины, и эти слои склонны располагаться друг над другом, как страницы в книге. Отдельные слои состоят из тетраэдрических и/или октаэдрических пластин, и такое расположение пластин играет весьма важную роль в определении и различении этих глинистых минералов.

СДГ включают широкий спектр химических соединений и их слоистую структуру, которая может быть очень разнообразной для образования политипов [8]. Например, алюмосиликатные катионные наночастицы, такие как монтмориллонит (ММТ), имеют восьмиугольные и четырехугольные пластины, с высокими внутренними поверхностями.

Основная структура катионных глин основана на каркасе, где структурная единица состоит из восьмиугольно-скрученного листа между двумя четырехугольными пластинами. На рис. 4 представлена структура такой двухслойной гидроксидно-катионной глины.

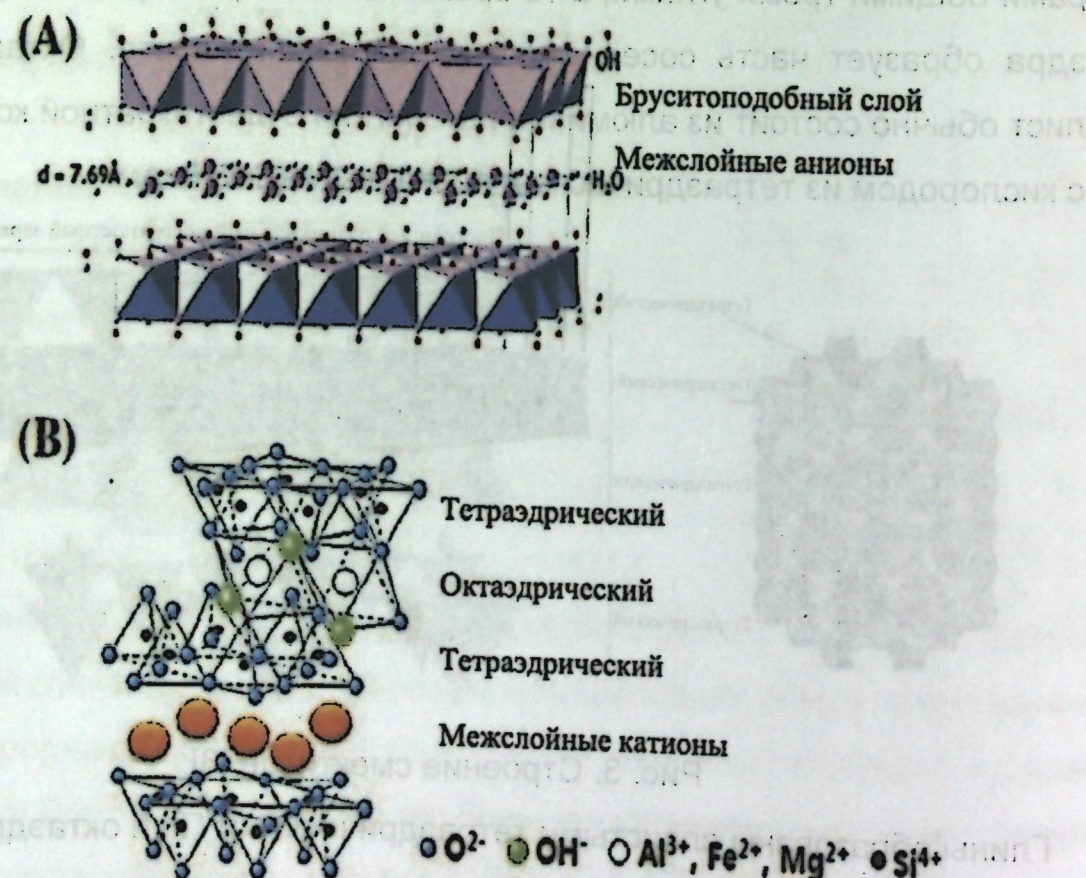


Рис. 4. (А) Двухслойный гидроксид и (Б) катионная глина (ММТ) [8]

Реакционная способность глин во многом зависит от их способности к набуханию [8]. Так, каолинит (из семейства глин 1:1), тальк и пиррофиллит (из семейства глин 2:1) не имеют структурного заряда и, следовательно, не набухают и обладают низкой адсорбционной способностью.

Высокая загрузка вермикулита и иллита ограничивает их склонность к набуханию и гелеобразованию, хотя их площадь поверхности относительно высока. Сметиты характеризуются относительно низким зарядом слоя, что позволяет их частицам полностью диссоциировать в воде и придает им довольно интересные реологические/гелеобразующие свойства и поверхностную реакционную способность.

В результате, ММТ с суммарным зарядом сетки вполне может набухать в присутствии воды и гидрофильных растворителей, т.к. положительно заряженные биологически активные соединения могут внедряться в межслойные (внутрислойные) пространства за счет электростатического взаимодействия.

Электрические заряды глин. При этом пространство между соседними слоями может содержать свободные катионы натрия, кальция или магния (рис. 5), которые электростатически притягиваются к внешним отрицательно заряженным поверхностям.

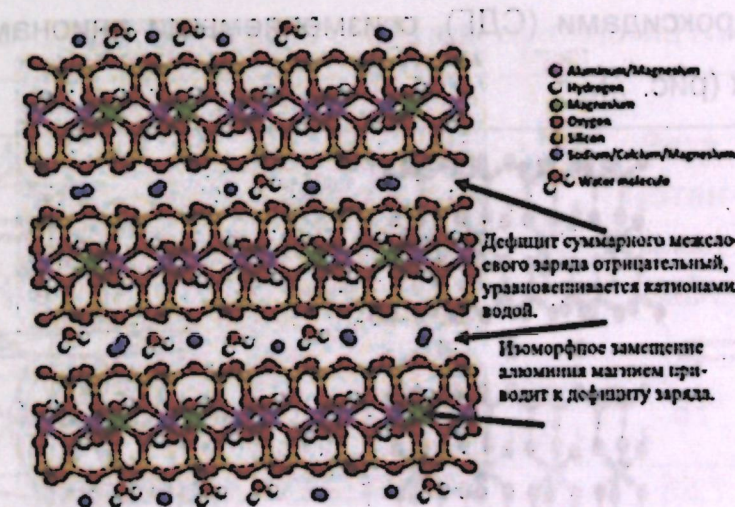


Рис. 5. Молекулярная структура Na-монтмориллонита, показывающая конфигурацию, изоморфное замещение, дефицит заряда и межслойные катионы в коллоидной форме

Расположенные на их межслоевых поверхностях отрицательные заряды уравниваются катионами. В виде коллоидов межслоевые катионы отделяются от частиц глины и связываются с другими отрицательно заряженными поверхностями [6]. Эти частицы, из-за наличия разорванных связей на их концах, также имеют положительно заряженные края.

При этом слои глины делятся на 2 разных типа, по преобладанию анионов и катионов, в зависимости от уровня заряда слоя и типов межслоевых ионов (рис. 6).

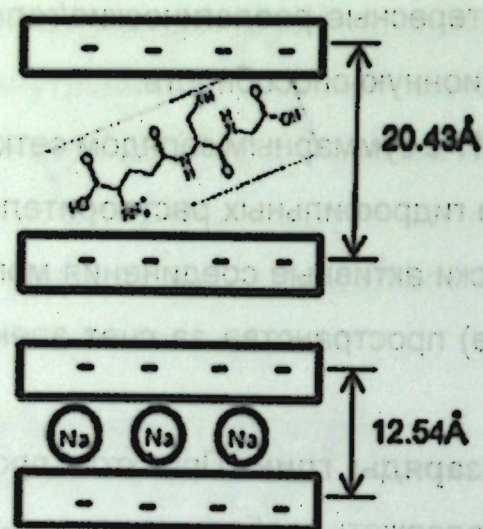


Рис. 6. Слои наноглины [8]

Глинистые геоматериалы с анионным слоем обычно создаются двух-слойными гидроксидами (СДГ), с изменяемыми анионами в межслоевых пространствах (рис. 7).

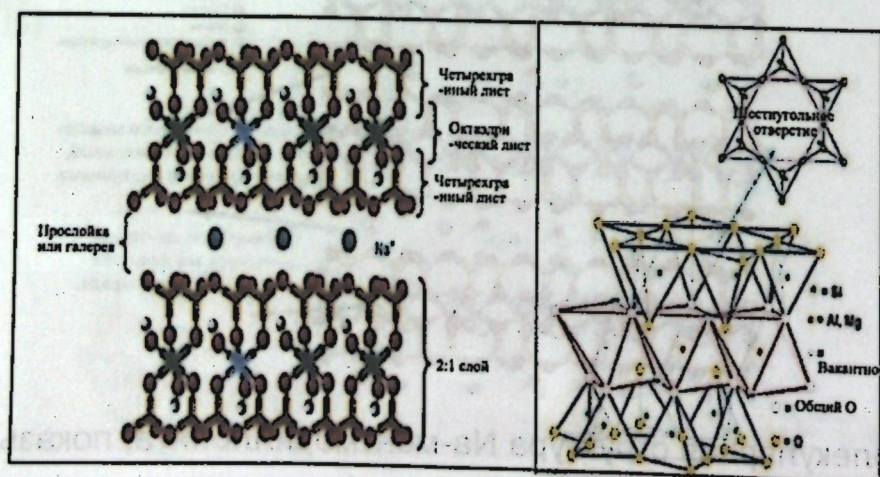


Рис. 7. Структура сети ММТ [8]

В результате, на частице смектитовой глины возникают 2 типа электрических зарядов:

1) Постоянные отрицательные заряды на поверхности из-за изоморфного катионного замещения в тетраэдрических и/или октаэдрических слоях, уравновешенные обменными катионами (такими, как Na или Ca^{2+}) в межслоевой галерее.

2) Положительные (амфотерные) заряды на краях из-за разорванных групп Si-O, Al-OH и Mg-OH. При $\text{pH} < \text{нулевой точки заряда (ZPC)}$ эти краевые заряды становятся положительными с емкостью анионного обмена, а при $\text{pH} > \text{ZPC}$ они становятся отрицательными с емкостью катионного обмена.

Выделенные из глин наночастицы. В ходе исследования было установлено, что галлуазит образован гидратированными слоями 1:1, которые превращаются в нанотрубки (лист оксида алюминия внутри и слой кремнезема на внешней поверхности), а сепиолиты (и палыгорскит) характеризуются их перевернутыми 2:1 ленточными конструкциями. Такие компоновки обеспечивают большую пористость и сорбционную емкость. В таблице 2 представлена сводка физико-химических свойств наночастиц глины, таких как наноформы, удельная площадь поверхности, дзета-потенциал и т.д.

Таблица 2 Физико-химические свойства наночастиц глины [8]

Наноглина	Химическая формула	Форма	Зета Потенциал (мВ)	Удельная поверхность (м ² /грамм)
Галлуазит МР1	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	Трубчатая	- 41	65
Галлуазит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$		- 32,1	64
Наномер ПГВ	$\text{Mg} (\text{Al}_2\text{Mg})_3 (\text{Si}) \text{O}_4 (\text{OH})_{10} \times n \text{H}_2\text{O}$	Тромбоцит	- 51,9	нет данных

$\text{Na}_2\text{Mg}_{3,0-x-4-10}(\text{FOH}_{1-y-2})$	МЭ-100	- 52,3	9
$(\text{Si}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})\text{O}_4(\text{OH}_2), \text{Xn}, \text{m}_4(\text{H}_2\text{O})_2$	Деле-лит	- 45,1	600
$\text{Na}_{0,4}\text{MgLi}_{2,7}\text{Si}_{10,3}\text{O}_4(\text{OH})_{10}$	Бенто-нит	-36,6	600
$(\text{Натрий}, \text{Ca})_{0,33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Клуазит Na^+	-48,6	800

Кроме того, было установлено, что каолины представляют собой пластинчатые частицы глины размером от нанометров до микрометров, тогда как галлуазит представляют собой полые палочковидные частицы (нанотрубки) с диаметром просвета ~20 нм и длиной от 300 нм до 2 мкм (рис. 8).

бентонит

галлуазит

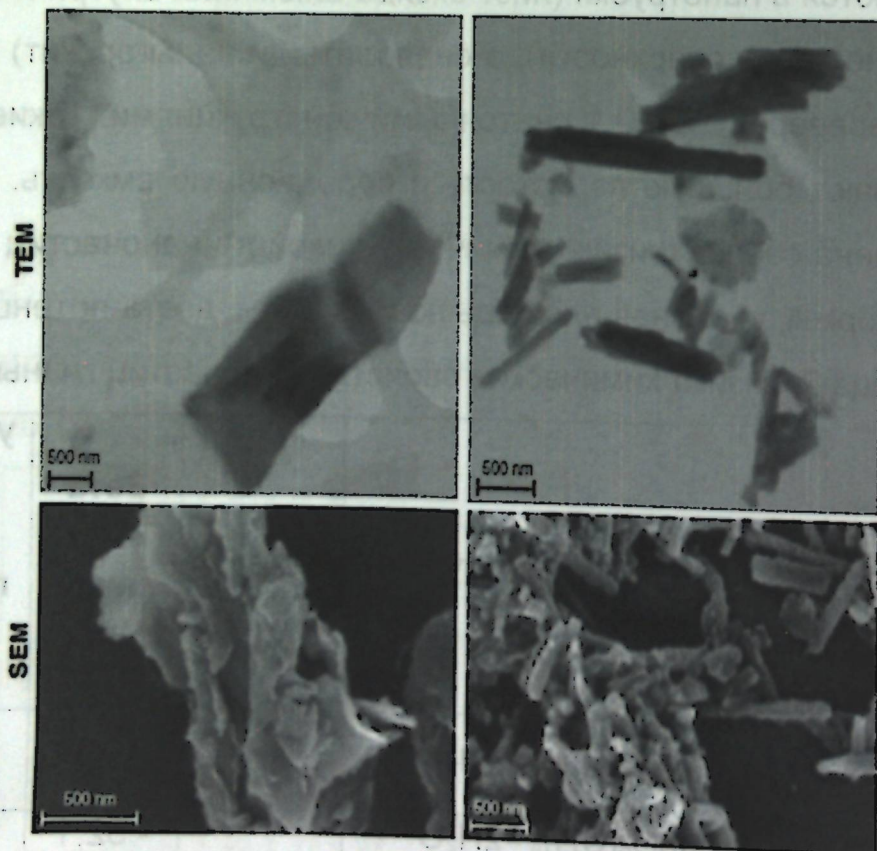


Рис. 8. SEM и TEM изображения наноглин [8]

Присутствующие в горной массе наночастицы образуют наносодержащий слой, который обеспечивает передающую и пропускную способность

или проскальзывание горной массы оползня, т.к. определяет качественно-количественное значение трения, а также преобразование вектора сил между сильным и прерывистым трением и плавным скольжением. Так, даже при малом (2 %) содержании в породе глинистые минералы (иллит, каолинит, смектит и др.) способны образовать почти сплошные тонкие (1–4 нм) пленки на поверхности трения [7].

Особенности механизма передвижения геомассы оползня. В настоящее время трение горной массы оползня подразделяют на кинетическое и статическое трение.

При этом, кинетическое трение определяется разной скоростью периодического встряхивания перемещаемой горной массы, которое характеризуется прерывистым смещением, внезапным исчезновением прочности и хрупкой деформацией. Кинетическое трение горной массы оползня к тому же может обладать двухподложечным скольжением, образуя бинарную нанослойную систему.

Так, например, с помощью электронного микроскопа была определена поверхность динамической тонкой оболочки гаечного сброса в мезозойском граните разлома. В этом случае, как гладкая, так и шероховатая поверхности были обнаружены в верхней и нижней структурах двух слоев. При чем, на гладкой плоскости наноразмерные зерна горной породы имеют неправильную форму и мозаичную текстуру. Напротив, на шероховатой плоскости отдельные наночастицы (диаметром 70–90 нм) шлифовального зерна несколько мельче, чем на гладкой плоскости, здесь они образуют составные шлифовальные зерна (200 нм и 300 нм) и выходят в структуру подложки из двух слоев.

Статическое трение, которое имеет меньшую величину, контролируется стержневым действием плоскости скольжения и представляет собой квазистатическое кумулятивное скольжение в парастатических условиях. Кроме того, статическое трение демонстрирует непрерывные конечные

смещения, а размер распределения наночастиц является относительно однородным, с более сильным проникновением. Эта функция, из-за её пластичных характеристик, называется унитарной нанослойной системой.

Согласно полученным в ходе аналитических исследований экспериментальным результатам, ширина бинарной наноразмерной слоистой системы хрупкой деформации относительно невелика (от нескольких миллиметров до 10 см).

Наноразмерные частицы (наноразмерные шлифовальные зерна) в плоскостях сдвига горных пород возникают в результате определенного износа при перемещении горной массы оползня, в следствие её трения. При этом, процесс трения горной массы оползня представляет собой довольно неустойчивую и весьма сложную систему, ограниченную действием многих элементов, проявлением нелинейной сильной связи.

В 1995 г. была предложена новая концепция многофазного нанокомпозитного покрытия разных ионов. Из этой теории становится совершенно ясным, что образование наноразмерного слоя на поверхности сдвига в горных породах фактически представляет собой покрытие, которое «размазывается» под действием силы трения.

В обычных условиях ширина одиночного слоя наноразмерного покрытия в пластичной плоскости сдвига, соответствующая химическому осаждению геоматериала, в основном составляет первые микроны.

При этом, плоскость (зона) сдвига горной породы представляет собой зону пластической деформации, в которой скольжение преобладает над пластической реологией. Однако, на самом деле эта фрикционно-вязкая переходная зона проходит через специфический процесс, включающий множественные вязко-вязкостные (пластичная деформация) и множественные хрупко-вязкие (хрупкая деформация) воздействия, что приводит к улучшению диффузионной ползучести и течения горной массы, следуя за вращением субзерен и рекристаллизацией границ зерен, при одновременном формировании в этой области наночастиц.

Это теоретическое объяснение резкого улучшения фрикционной вязкости и реологии ползучести горной массы оползней было подтверждено на основе микроскопических наблюдений. Так, наблюдая с помощью электронного микроскопа процессы, происходящие на плоскостях сдвига горных пород, можно утверждать, что пластическое течение существенным образом определяется движением самоизмельчающихся зерен в нанометровых интервалах, за счет того, что слой образуемых наноразмерных частиц обладает гораздо большей активностью и меньшим сопротивлением.

Заключение. К тому же, из-за своей относительно большой плотности и значительной площади поверхности слой наноразмерных частиц вызывает физико-химическую активацию, что оказывает существенное воздействие на перемещение горной массы оползня, т.к. в слое наноразмерных частиц сила трения составляет лишь 1/20 от предшествующей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Наноинженерия топливно-энергетического комплекса. Т 2. Наноассоциаты пород и наноминералы. М., РУДН. 2019. 411 с.
2. Воробьев А.Е., Ибрагимов Р., Салим Трабелсси. Особенности современной наноминералогии // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы IV Международной науч.-практ. конф. Междуреченск, 8-10 апреля 2015 г. - Кемерово, 2015. С. 26-27.
3. Воробьев А.Е., Ибылдаев М.Х. Наноструктуры и наночастицы // Механика и технологии (Казахстан) № 2. 2015. С. 95-102.
4. Воробьев А.Е., Кочофа Г.А., Малюков В.П., Лысенкова З.В., Капитонова И.Л., Мартин Зарума Торрес, Чекушина Е.В., Ибрагимов Р. Каукенова А.С., Синченко А.В., Нарожный И.М., Трабелсси Салим. Нанотехнологии образования наномеров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. - №1. - 2015. - С. 123-128.

УДК: 622.272:622.83

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА РАЗРАБОТКИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Тажибаев К.Т., Сулайманов Ч.К.

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, ул. Медерова 98, г. Бишкек, Кыргызстан
Кумтор Голд Компани, ул. Ибраимова 24, г. Бишкек, Кыргызстан

Разработка месторождений полезных ископаемых является опасной, трудоемкой требующей детального изучения геологии, тектоники, гидрогеологии, физико-механические свойства массива горных пород и всю особенность инженерно-геологических особенностей месторождения еще только на стадии проектирования. В данной работе приведены результаты анализа и обзора особенностей месторождений полезных ископаемых Кыргызской Республики и случаи применения комбинированного способа их разработки, поскольку большинство месторождений подлежат именно этому способу.

Ключевые слова: месторождение, горные породы, способ разработки, комбинированный способ, тектоника.

ПАЙДАЛУУ КЕН ЖАТАКТАРЫН КАЗЫП ИШТЕТҮҮДӨ АЙКАЛЫШКАН ЫКМАНЫ КОЛДОНУУ

Тажибаев К.Т., Сулайманов Ч.К.

КР Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту, Медерова көч. 98, Бишкек ш., Кыргызстан, Кумтор Голд Компани, Ибраимов көч. 24, Бишкек ш., Кыргызстан

Пайдалуу кен казындылардын кендерин иштетүү коркунучтуу, эмгекти көп талап кылган, геологияны, тектониканы, гидрогеологияны, тоо тектеринин массивинин физикалык-механикалык касиеттерин жана кендин инженердик-геологиялык өзгөчөлүктөрүнүн долбоорлоо стадиясында гана толук

5. Санакулов К.С., Воробьев А.Е., Норов Ю.Д. Начало промышленного применения нанотехнологий в недропользовании. Ташкент. Фан. 2017. 496 с.

6. Abduljawad et al. Nano-clays as potential pseudo-antibodies for COVID-19 // Nanoscale research letters. 2020. 15:173.

7. Alekseyev V.A. Nanoparticles and nanofluids in "water-rock" interactions. Geokhimiya. 2019. pp. 343–355. DOI: 10.31857/S0016-7525644343-355.

8. Seyyed Mojtaba Mousavi, Seyyed Alireza Hashemi, Sarvenaz Salahi, Mojgan Hosseini, Ali Mohammad Amani and Aziz Babapoor. Development of clay nanoparticles toward bio and medical applications. 2018. Pp. 167-191. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77341>.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00444, <https://rscf.ru/project/23-27-00444/>, 2023 г.

изилдөөнү талап кылат. Бул иште Кыргыз Республикасынын пайдалуу казындылардын кендеринин өзгөчөлүктөрүн талдоонун жана Серептин жыйынтыктары жана аларды иштетүүнүн комбинацияланган ыкмасын колдонуу учурлары келтирилген, анткени көпчүлүк кендер дал ушул ыкмага жатат.

Баштапкы сөздөр: кен жатагы, тоо тектери, иштетүү ыкмасы, комбинацияланган ыкма, тектоника.

APPLICATION OF THE COMBINED METHOD OF DEVELOPMENT IN MINERAL DEPOSITS

Tazhibaev K.T., Sulaimanov C.K.

Institute of Geomechanics and development of subsoil of the National academy of sciences of the Kyrgyz Republic, 98 Mederova St., Bishkek, Kyrgyzstan, Kumtor Gold Company, 24 Ibraimova st., Bishkek, Kyrgyzstan

The development of mineral deposits is dangerous, time-consuming, requiring a detailed study of geology, tectonics, hydrogeology, physical and mechanical properties of the rock mass and the whole feature of the engineering and geological features of the deposit is still only at the design stage. This paper presents the results of the analysis and review of the features of mineral deposits of the Kyrgyz Republic and the cases of the combined method of their development, since most deposits are subject to this method.

Keywords: deposit, rocks, mining method, combined method, tectonics.

Кыргызстан обладает значительным потенциалом по многим видам природного минерального сырья. На ее территории выявлено несколько тысяч различных месторождений и рудопроявлений рудных и нерудных полезных ископаемых. Сложное и длительное геологическое развитие Кыргызского Тянь-Шаня создало благоприятные условия для формирования месторождений разнообразных видов полезных ископаемых. Для металлогении Кыргызстана характерно большое разнообразие генетических ассоциаций месторождений, охватывающих почти весь элементный состав периодической таблицы Д.И. Менделеева. В Кыргызстане выявлено и учтено несколько тысяч месторождений и проявлений различных полезных ископаемых. Ведущими для нее являются золото, ртуть, сурьма, редкие земли,

олово, вольфрам, уголь, нерудное сырье, подземные воды. Есть перспектива организации добычи железа, титана, ванадия, алюминия, меди, молибдена, бериллия. Не исключена промышленная значимость тантало-ниобатов, кобальта, циркония, лития, цветных камней. Наиболее крупные и основные виды полезных ископаемых и месторождения Кыргызстана представлены в таблице 1 [1].

Геологическое строение территории Кыргызстана очень сложное. Для геологии Кыргызской части Тянь-Шаня характерна ярко выраженная тектоническая зональность, отражающая разно-возрастность образующих его складчатых систем.

Кыргызстан – горная страна, с территорией 199,9 тыс. км², занимает основную часть горной системы Тянь-Шань. (рис.1) Абсолютные отметки высот территории находятся в диапазоне от 401 до 7469м. При этом до 1000м расположено 5,9 % территории, от 1000 до 2000м – 22,4 %, от 2000 до 3000м – 30,9 % и свыше 3000м – 40,8 %. Это означает, что основная часть республики – это высокогорье, под которым подразумевается территория земной поверхности, приподнятая более 1000м над уровнем моря, со сложным рельефом и с разреженной атмосферой. [2]

Формирование горно-складчатой системы обуславливает сложное горно-геологическое строение рудного тела и вмещающих пород с особенностями сложной тектоники и начального напряженного состояния массива в отличие от равнинных местностей. [3] К одним из таких месторождений является золоторудное месторождение Джеруй, проектная мощность которого составляет 1,3 млн. т. руды в год. Открытая часть отработки запасов предусматривается в течение 14 лет. [4]

Комбинированная разработка полезных ископаемых — это разработка месторождения полезного ископаемого последовательно или одновременно открытым и подземным способами. (рис. 2)

Таблица 1. Полезные ископаемые Кыргызстана

Металлогения Северного Тянь-Шаня		Металлогения Среднего Тянь-Шаня		Металлогения Южного Тянь-Шаня	
Полезный компонент	Месторождение	Полезный компонент	Месторождение	Полезный компонент	Месторождение
золото	Джеруй, Талдыбулак Левобережный, Долпран, Коматор и др	золото	Кумтор, Макмал	золото	Тохтазан, Алтын-Джилга, Ничкесу, Тоголок
серебро	Кумыштаг	молибден	Чаарташ	сурьма	Кадамджай, Абшир
мышьяк	Уч-Имчек	вольфрам	Кенсу, Кумбель	ртуть	Хайдаркан, Чонкой
бериллий	Калесай, Четенды, Тюкту-Арча	железо	Гава, Джетымское	вольфрам	Трудовое, Меликсу
редкоземельные	Кутессай-П	уран, молибден и ванадий	Сарыджазское	олово	Трудовое, Учкошкон
алюминий	Сандык	медь	Куру-Тегерек, Бозымчак	алюминий	Зардалек, Катранбашиновское, Каранглинское
железо и ванадий	Бала-Чичкан	полиметаллы	Сумсар	свинец и цинк	Турабулак
медь	Талдыбулак, Андаш, Акташ	сурьма	Терек, Касан	кобальт	Чалкуйрук
свинец и цинк	Боорду, Курган, Ташкоро, Икичат	также графит и волластонит		стронций	Джидабулак
висмут	Мироновское			тантал и ниобий	Дельбек, Тутек
уголь	Кара-Киче, Минкуш, Джергалан			железо	Надир
большие запасы подземных термально-минеральных вод				многочисленные месторождения угля, нерудного сырья, нефти и газа	

Осуществляется для получения наибольшего экономического эффекта разработки месторождения в целом, в т.ч. обеспечения наиболее полного извлечения полезных ископаемых преимущественно за счёт объединения открытого и подземного способов ведения горных работ.



Рис.1. Горный рельеф поверхности Кыргызстана

В зависимости от очередности открытых и подземных работ и степени их совмещения, комбинированные способы разработки, разделяются на три группы:

1. отработка вначале ведётся открытым способом, затем подземным,
2. отработка вначале ведётся подземным, затем открытым,
3. открытым и подземным способами одновременно.

Совмещение во времени открытых и подземных работ имеет место и в первых двух группах: в момент перехода с одного способа на другой. Этим обеспечивается непрерывность процесса добычи полезных ископаемых.

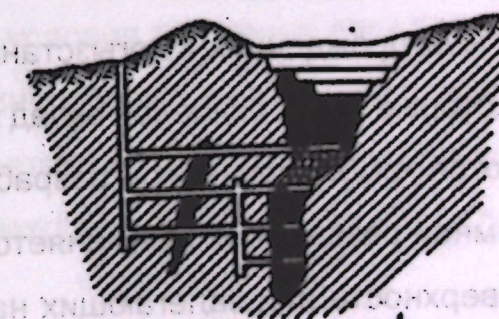


Рис.2. Комбинированный способ разработки месторождения

В соответствии с принятой классификацией горных наук и по аналогии с определением комбинированных систем подземной разработки рудных месторождений, сущность которых заключается в том, что часть залежи, подготовленная по единой схеме, делится на выемочные участки, отрабатываемые различными системами разработки, комбинированная технология предполагает освоение запасов месторождения различными способами при единой схеме вскрытия и подготовки.

Классификация возможных способов освоения запасов месторождения приведена на рисунке 2. Комбинированная технология может быть представлена совокупностью процессов физико-технических и физико-химических технологий при различных сочетаниях во времени и пространстве открытых и подземных работ. [5]



Рис. 2. Классификация возможных способов освоения запасов месторождения

На высокогорных месторождениях Кыргызстана, в особенности месторождения золота, которые несут основной вклад в развития экономики страны, разрабатываются комбинированной разработкой в варианте открытой, а затем подземной разработки. Применяется это группа на мощных выходящих на поверхность или залегающих на небольшой глубине месторождениях полезных ископаемых, часто крутопадающих. Границы перехода с открытых на подземные работы определяются:

- по критерию равенства текущего коэффициента вскрыши — граничному по В. В. Ржевскому;
- по критерию получения максимальной прибыли при отработке всего месторождения тем или другим способом по Б. П. Юматову;
- по критерию равенства суммы первоначального и усреднённого эксплуатационных коэффициентов вскрыши — граничному по А. И. Арсентьеву.

Вследствие того, что в процессе эксплуатации месторождения происходит постоянное совершенствование техники и технологии горных работ (следовательно, снижаются затраты на разработку), а цены на сырьё иногда увеличиваются, происходит пересмотр границ открытых разработок и периодическая реконструкция карьеров с целью увеличения их глубины. При высоких темпах углубления открытых горных работ, когда прогресс техники и технологии не успевает обеспечить увеличение эффективности открытой разработки, переходят на подземную разработку месторождения. [6]

На основе анализа научной и научно-технической литературы выявлено, что:

1. При выборе способа разработки необходимо учитывать комплекс факторов, влияющих не только на безопасную, но быструю и экономичную разработку месторождения;
2. Основным фактором, влияющим на выбор способа разработки, являются параметры и условия залегания рудного тела;
3. При выборе комбинированного способа разработки необходимо особое внимание обратить на напряжённое состояние участка массива попадающий в переходную зону от открытых к подземным;

ЛИТЕРАТУРА

1. Central Asian Geoportal. Central Asian Countries – Kyrgyzstan <https://geoportal-kq.org/ru/>

2. Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова Комплексное освоение месторождений минеральных ресурсов. Учебное пособие. Бишкек 2019. 288стр
3. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т., Казакбаева Г.О. Исследование полей остаточных напряжений в оптически активных модельных образцах и их влияния на процессы деформирования и разрушения. Современные проблемы механики. 2018. № 33 (3). С. 271-279.
4. Краткая характеристика технологических процессов производства по выбранному в проекте варианту. Месторождение Джеруй. Оценка Воздействия на Окружающую Среду (ОВОС)
5. Казикаев Д.М., Савич Г.В. Практический курс геомеханики подземной и комбинированной разработки руд. Издание 2. Горная книга, Москва, 2013 г., 224 стр.
6. Мухтаров Т.М. Комбинированный способ разработки рудных месторождений. Наука, Москва, 1988 г., 231 стр.

УДК 624.131

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЕФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРАВОБЕРЕЖНОГО СКЛОНА ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Приведена методика обработки данных включающая элементы теории временных рядов и прикладного регрессионного анализа.

Ключевые слова: трехосный щелемер, временные ряды, сезонная компонента, тренд, уравнение регрессии, критерий значимости Фишера.

ТОКТОГУЛ ГЭСИНИН ОҢ ЖЭЭГИНДЕГИ ЭҢКЕЙИШТИН ДЕФОРМАЦИЯСЫНЫН МОНИТОРИНГИНИН МААЛЫМАТТАРЫН ИШТЕТҮҮ МЕТОДИКАСЫ

Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э.

КР Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын издештүрүү институту

Убактылуу катарлар теориясынын жана регрессиялык анализдин камтыган маалыматтарды иштетүүнүн техникасы келтирилген.

Баштапкы сөздөр: жарыктын үч аксиалдык өлчөгүчү, убакыт катарлар, сезондук компонент, тренд, регрессия теңдемеси, Фишердин маанилик тести

DATA PROCESSING OF DEFORMATION MONITORING THE TOKTOGUL HPP RIGHT-BANK SLOPE METHODOLOGY

Sydykova A.S., Emilbekov B.E.

Institute of Geomechanics and development of subsoil of the National academy of sciences of the Kyrgyz Republic

A data processing technique including elements of time series theory and applied regression analysis is presented.

Key words: triaxial slit gauge, time series, seasonal component, trend, regression equation, Fisher significance criterion.

Потенциально неустойчивый скальный массив 59-1 расположен на участке правобережного примыкания плотины Токтогульской ГЭС на отметках 920+990м и представляет собой сформировавшееся оползневое тело (призму обрушения), отчлененное от основной скалы трещиной №715. Величина раскрытия трещины (десятки сантиметров) указывает на имевшие ранее место значительные необратимые подвижки вдоль подсекающей трещины №7. Объем массива составляет около 48 тысяч м³.

Согласно современным представлениям о процессе разрушения, обрушению должны предшествовать дестабилизация состояния массива, начало его смещения и переход смещения в экстремальный режим. Предполагается, что признаки дестабилизации, смещения и перехода смещения в экстремальный режим, могут быть выявлены по результатам инструментальных наблюдений.

Поэтому в 2013 г. на отметках 940 и 970м у основания и в верхней части массива 59-1 по отсекающей трещине 715 были установлены трехосные щелемеры фирмы NARI (КНР) предназначенные для измерения перемещений в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Измерения производятся один раз в неделю индикатором часового типа с ценой деления 0,01мм.

Проявлению крупных деформаций и, как следствие, обрушений, как правило, предшествуют микродеформации, развивающиеся в течение длительного времени. Скорости деформаций массивов горных пород на этой скрытой стадии малы и обычно эту стадию называют стабильным или естественным состоянием горного склона. Методически деформационный мониторинг массива 59-1 должен выявить это естественное состояние и характеризующие его численные значения параметров деформационного процесса.

Регистрируемые данные мониторинга представляют собой временные ряды, состоящие из детерминированных и случайной компонент. При

анализе данных необходимо различать необратимые и обратимые (упругие) деформации. К необратимым относятся естественные для крутых скальных склонов деформации разгрузки и ползучести, обусловленные постоянным действием гравитационных и тектонических сил. Именно они характеризуют естественное состояние оползневого склона. Сюда же относятся необратимые смещения (подвижки) призмы обрушения по поверхности скольжения при экстремальных динамических воздействиях. Ожидается, что необратимые перемещения призмы обрушения будут происходить вдоль поверхности скольжения, т.е. оползневое тело с течением времени будет смещаться вниз с соответствующим раскрытием трещины отрыва 715.

Обратимые деформации имеют самую разнообразную природу. Наиболее важными и значимыми среди них являются сезонные деформации с периодом в один год. Они связаны с годовым температурным и климатическим воздействием. Методически естественное состояние состоит из тренда и сезонной компоненты плюс возмущающие воздействия случайной компоненты: $y_t = x_t + s_t + z_t$. При этом делаются предположения, что сезонная компонента s_t повторяется из года в год, а случайная компонента z_t нормально распределена, равноточна (одинаковые дисперсии), имеет математическое ожидание равное нулю и некоррелирована. Оценка этих компонент осуществляется статистическими методами и, как следствие, появляется возможность прогноза временных рядов данных мониторинга. Отклонения текущих данных от прогнозируемых может служить признаком дестабилизации состояния массива.

Первым этапом анализа является выделение сезонной компоненты. В [1] было выявлено, что естественное стабильное состояние передовой части блока 59-1 суть состояние покоя, $x_t = 0$. Поэтому временной ряд принимает вид суммы $y_t = s_t + z_t$ и сезонную компоненту можно выявить непосредственно [2]. Год состоит из 52 недель и сезонная компонента получается при суммировании всех данных мониторинга по каждой неделе.

Суть заключается в том, что, несмотря на большой разброс данных, исходные данные должны содержать в себе полезный сигнал. При суммировании $\sum z_t \rightarrow 0$ (математическое ожидание случайной компоненты равно нулю) и влияние случайного разброса существенно уменьшается. Поскольку оценки сезонных компонент для шести временных рядов статистические, то надо к ним добавить доверительные интервалы.

Сезонная компонента важна как для понимания регистрируемых деформационных процессов, так и, в первую очередь, возможностью прогнозирования численных значений временного ряда в будущем и, соответственно, построения методики оперативной (например, ежемесячной) оценке устойчивости по текущим данным. Как и следовало ожидать, сезонные компоненты оказались по форме близки к синусоидам, т.е. повторяют годовой ход температуры. Их удобно представить в виде таблиц, включающих номер недели года, величины сезонных деформаций и их доверительные интервалы.

Далее, отнимая из исходного ряда сезонную компоненту, получаем временной ряд содержащий тренд и случайную компоненту. Для выявления тренда и дальнейшего анализа используются методы прикладного регрессионного анализа. Расчеты можно проводить статистическими функциями приложения Microsoft Excel используя пакет «Анализ данных» или функцию ЛИНЕЙН. Здесь нам потребуются некоторые пояснения.

Напомним основные положения прикладного регрессионного анализа [3]. Уравнение регрессии должно обеспечить наилучшее соответствие аналитического выражения имеющимся экспериментальным данным, подверженным случайным воздействиям. В нашем случае, исходя из предположения, что наиболее вероятным видом необратимых медленных (тренд) движений призмы обрушения будут медленные перемещения вдоль поверхности скольжения, выбирается линейная модель $y = mx + b$, где x — время в неделях, y — показания щелемера. Неизвестные коэффициенты уравнения регрессии оцениваются на основе метода наименьших

квадратов. Точность аппроксимации с помощью прямой линии зависит от разброса данных, поэтому подсчитываются доверительные интервалы, в пределах которых находятся угловой коэффициент m и постоянный член b . Далее для каждой точки вычисляется квадрат разности между прогнозируемым значением y и фактическим значением y_i . Сумма этих квадратов разностей называется остаточной суммой квадратов $ss_{ост}$. Затем подсчитывается общая сумма квадратов $ss_{общ}$ и регрессионная сумма квадратов $ss_{рег} = ss_{общ} - ss_{ост}$. Чем меньше остаточная сумма квадратов, тем больше значение коэффициента детерминированности $R^2 = ss_{рег} / ss_{общ}$, который показывает насколько хорошо уравнение, полученное с помощью регрессионного анализа, объясняет взаимосвязи между переменными. В случае линейной регрессии корень квадратный из коэффициента детерминированности R^2 равняется коэффициенту корреляции r .

Далее, т.к. y_i — случайные величины, любая функция от них также будет случайной величиной. В частности, эти две функции $ss_{рег}$ — средний квадрат обусловленный регрессией и $ss_{ост}$ — средний квадрат, обусловленный остаточной вариацией, тоже будут случайными. Эти функции имеют свои собственные распределения, средние, дисперсии и моменты. В математической статистике доказывается, что отношение $F = ss_{рег} / ss_{ост}$ подчиняется F-распределению Фишера с (в случае линейной регрессии) одной и $(n-2)$ степенями свободы при условии нуль-гипотезы, что $\beta_1 = 0$. Этот факт можно теперь использовать как критерий выполнимости равенства $\beta_1 = 0$, путем сравнения вычисленного фактического значения F с табличной точкой $F(1, n-2)$ — распределения Фишера, т.е. производит оценку значимости этих параметров с использованием F — статистики Фишера. Статистический смысл термина значимость означает, что выявленная регрессионная зависимость проявляется сильнее, чем это можно было бы ожидать в случае чисто случайного временного ряда. Таким образом, основой статистических выводов прикладного регрессионного анализа является выделение и подсчет квадратов ошибок.

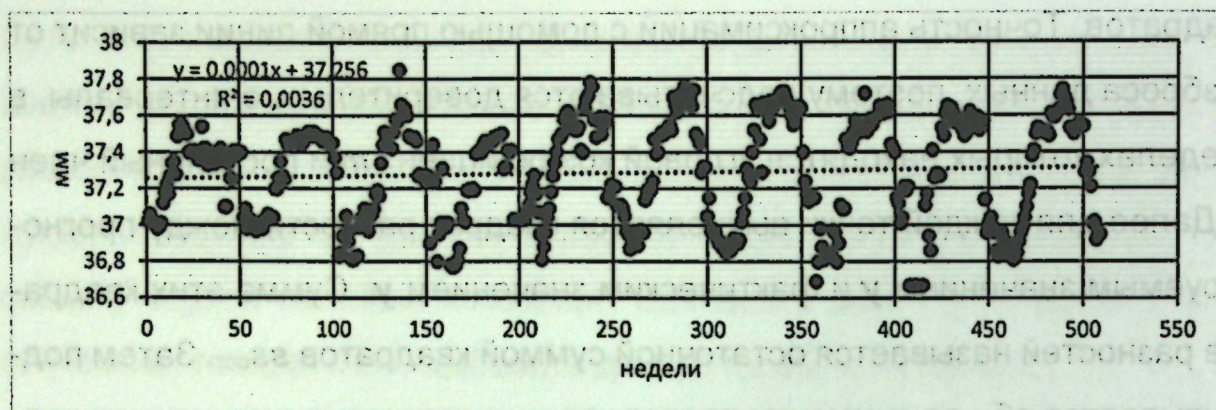


Рис.1 Перемещения поперек трещины, отметка 940м.

На рис.1 приведен временной ряд показаний щелемера перемещений поперек трещины №715 на отметке 940 м. Видно, что временной ряд содержит линейный тренд, сезонную и случайную компоненты. При этом случайная компонента автоматически входит в разброс данных относительно уравнения регрессии и в квадраты ошибок, уменьшая тем самым численное значение F – критерия Фишера. Поэтому сезонная компонента обязательно должна выявляться и исключаться из регрессионного анализа.

Сезонная компонента с периодом один год или 52 недели близка к синусоиде. Если обрабатываются ряды с кратным числом периодов, то математическое ожидание синусоиды остается постоянным и линейный коэффициент регрессии равен нулю, т.е. тренд отсутствует. При других объемах данных он появляется, причем его величина зависит от длины ряда. Кроме того, он появляется при наличии пропусков, возникающих из-за труднодоступности мест установки щелемеров, особенно на отметке 970м в зимнее время. При этом удаляется часть синусоиды с определенными весами, что приводит к появлению тренда (появлению линейного коэффициента регрессии) в сезонной компоненте. Поэтому необходимо убедиться, что процедура удаления сезонной компоненты не влияет на действительный тренд.

В уравнении линейной регрессии $y = mx + b$ угловой коэффициент m и свободный член b вычисляются по формулам:

$$m = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{\sum y - m \sum x}{n}$$

Предположим, что наш временной ряд y состоит из двух компонент $y = y_1 + (y - y_1) = y_1 + y_2$, т.е. сезонной компоненты y_1 и остатка y_2 . Подставляя в формулы для коэффициентов регрессии получаем доказательство верности разложений $m = m_1 + m_2$ и $b = b_1 + b_2$. Отсюда следует, что сезонную компоненту действительно надо исключать при оценках тренда. Для наглядности и оценки ошибок округлений возникающих при массовых вычислениях [3], приведем уравнения регрессий подсчитанных по данным временного ряда, сезонной компоненты и остатка, например, для перемещений поперек трещины на отметке 940 м :

временной ряд	$y = 0,000131022 \cdot x + 37,25320945$
сезон	$y = 0,000115251 x + 37,26088956$
остаток	$y = 1,5771E-5 x - 0,07680101$
ошибки округлений	$y - (y_1 + y_2) = 7,7927E-20 \cdot x - 3,92412E-14$

Видно, что Microsoft Excel производит вычисления практически без округлений, различия в оценках m появляются в двадцатом знаке после запятой, а в оценках b в четырнадцатом. Такой же порядок возникающих ошибок имеет место во всех временных рядах. Точность вычислений более чем достаточная.

Таким образом, целью деформационного мониторинга передовой части массива 59-1 является оценка его стабильного естественного состояния и методика обработки данных начинается с выделения сезонной компоненты. Затем, путем вычитания сезонной компоненты из исходных временных рядов получаем остатки. Эта процедура не вносит каких-либо ошибок в оценки присутствующего в рядах действительного тренда. Дальнейшая статистическая обработка производится над остатками, состоящими из тренда и случайной компоненты по методикам прикладного регрессионного анализа [3]. Оцениваются параметры уравнения регрессии, их стандартные отклонения, доверительные интервалы с

использованием распределения Стьюдента и производится оценки значимости уравнений регрессии с использованием F – статистики Фишера. Знание параметров тренда (уравнения регрессии) и обратимых сезонных деформаций позволяет прогнозировать поведение склона в стабильном естественном состоянии. Отклонения от прогноза в получаемых текущих данных могут быть признаком дестабилизации и потребуют в качестве первоочередной задачи по крайней мере увеличения частоты опроса.

Отнимая из остатка y_2 выявленный тренд выделяем случайную компоненту, которая используется для проверки его случайного характера, например, наиболее простым критерием случайности – подсчетом поворотных точек /2/, стандартных оценок характеристик описательной статистики, дисперсий, коэффициентов взаимных корреляций и автокорреляционных функций. Результаты анализа сезонной и случайной компонент, присутствующих в получаемых временных рядах и представляющих несомненный интерес с точки зрения понимания происходящих деформационных процессов и модернизации системы мониторинга значительны по объему и будут освещены в последующих публикациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э. Деформационный мониторинг правобережного склона Токтогульской ГЭС /Современные проблемы механики, вып. 41(3), 2020г, С.349-355
2. Кендал М. Временные ряды. М.: Финансы и статистика, 1981, - 199с
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Книга1. М.: Мир, 1986 – 366с

УДК:517.534

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Сабитов¹ Б.Р., Картанова² А., Орозобекова² А.К., Шеримбекова² Э.Б., Турдубаева³ А.Б., Тенирбеди² у И, Алмабекова¹ Н.А., Джунушалиева¹ А.Д., Цю Ифен¹, Чжан Цайцзюй¹

¹КНУ им. Ж.Баласагына, ²КТУ им. И.Раззакова, ³КРСУ им.Б.Ельцина

В данной статье визуализируются результаты прогнозирования с применением продвинутых алгоритмов машинного обучения. Получены оценки точности моделей с помощью методов машинного обучения. Мы изучили процесс прогнозирования для расширения возможностей метода RF для прогнозирования урожайности кукурузы с помощью других наиболее продвинутых алгоритмов машинного обучения.

Ключевые слова: методы машинного обучения, моделирование урожайности, база данных, случайный лес, оценка точности модели.

МАШИНА МЕНЕН ҮЙРӨНҮҮ МЕНЕН АЙЫЛ ЧАРБА МИЛДЕТТЕРИН БИЛҮҮ

Сабитов¹ Б.Р., Картанова² А., Орозобекова² А.К., Шеримбекова² Э.Б., Турдубаева³ А.Б., Тенирбеди² у И, Алмабекова¹ Н.А., Джунушалиева¹ А.Д., Цю Ифен¹, Чжан Цайцзюй¹

Ж. Баласагына ат. ²КМУ, И.Раззаков ат. ¹КМТУ, Б.Ельцин ат. ³КРСУ

Бул макалада өнүккөн машина үйрөнүү алгоритмдерин колдонуу менен болжолдоо натыйжалары визуализацияланат. Моделдин тактыгына баа берүү машиналарды үйрөнүү ыкмаларын колдонуу менен алынат. Биз башка эң алдыңкы машина үйрөнүү алгоритмдери менен жүгөрүнүн түшүмдүүлүгүн болжолдоо үчүн RF методунун күчүн кеңейтүү үчүн болжолдоо процессин изилдедик.

Баштапкы сөздөр: машинаны үйрөнүү ыкмалары, түшүмдү моделдөө, маалымат базасы, кокус токой, моделдин тактыгын баалоо.

FORECASTING AGRICULTURAL TASKS USING MACHINE LEARNING

Sabitov¹ B.R., Kartanova² A., Orozobekova² A.K., Sherimbekova² E.B., Turdubayeva³ A.B., Tenirbedi² u I, Almabekova¹ N.A., Dzhunushalieva¹ A.D., Zu Ifen¹, Chjan Zayzshuy¹

¹KNU named of J. Balasagyn, ²KTU named of I. Razzakov,

³KRSU named of B.Yeltsin

This article visualizes the results of forecasting using advanced machine learning algorithms. Model accuracy estimates are obtained using machine learning methods. We have studied the forecasting process to extend the power of the RF method for corn yield forecasting with other most advanced machine learning algorithms.

Keywords: machine learning methods, yield modeling, database, random forest, model accuracy estimation.

В последние годы сельскохозяйственный сектор, в аграрных странах, включая Иссык-Кульский регион, сильно пострадал от недавних климатических изменений. Основной категорией служит урожайность культур. Известно, что погодные условия играют существенную роль в формировании урожайности. Например, ожидаемый дождь может не пойти в ожидаемое время из-за недавних изменений в характере осадков. Это исследование в основном направлено на решение проблем, возникших из-за сложности выявления несоответствия между текущим количеством осадков, почвы, влажности и температуры и традиционным графиком сезонного выращивания сельскохозяйственных культур. Даже с передовыми технологиями прогнозирование погоды стало сложной задачей.

В этой статье представлен подход машинного обучения, основанный на методе случайный лес, для прогнозирования урожайности точного земледелия. Для прогнозирования урожайности были выбраны коррели-

рующие характеристик урожайности как с расположением региона, минимальное и максимальное температура, влажность, характеристики почвы, которые были улучшены с помощью надлежащей предварительной обработки данных. 80-20 данных с перекрестной проверкой были первоначально обучены и протестированы с помощью алгоритма Random Forest, что достигла уровня точности 90. Результаты демонстрируют значительную точность подхода, основанного на методах ансамбля, для прогнозирования погоды в Иссык-Кульской области. Сельскохозяйственное производство в основном зависит от погодных условий. Оба аспекта внутренне связаны друг с другом в нескольких аспектах, поскольку изменение климата является ключевым фактором биотических и абиотических стрессов растений, оказывающих неблагоприятное влияние на мировое сельскохозяйственное производство. Сельскохозяйственные угодья подвержены влиянию Проблемной ситуацией является получение информации из необработанных наборов данных, что привело к расширению новых методов, таких как машинное обучение (МО), которые можно значительно использовать для интеграции информации с оценкой урожайности. Эта глава задумана как попытка представить моделирование урожайности с использованием методов машинного обучения в многомерных наборах данных.

Проблемной ситуацией является получение информации из необработанных наборов данных, что привело к расширению новых методов, таких как машинное обучение (МО), которые можно значительно использовать для интеграции информации с оценкой урожайности. Эта статья задумана как попытка представить моделирование урожайности с использованием методов машинного обучения в многомерных наборах данных.

Для построения моделей, использованы алгоритмы ансамблевого обучения для построения различных моделей. Перед построением и обучением модели нам нужно отделить зависимую переменную и разделить набор данных на набор для обучения и тестирования. В качестве базы

данных использовано реальная база данных с учетом временной особенности, региональный учет почвенных характеристик Иссык-кульского региона и погодные условия. Вот структура базы данных:

	Year	Location	Soil Type	Max_Temperature	Min_Temperature	Rainfall	Humidity	Yield Kg/ha
7083	2014	Ak_Suisky_peg	Black Soil	25.5	13.0	559.8	68.0	345.0
1891	2018	Tupsky_peg	Black Soil	21.5	13.0	543.8	50.0	2134.0
5644	2019	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	24.5	14.0	811.2	66.0	240.0
6918	2014	Tupsky_peg	Black Soil	26.5	13.0	559.8	74.0	2725.0
2173	2018	Jety_Ogyz_peg	Light Soil	31.0	11.0	543.8	73.0	2985.0
6300	2014	Ak_Suisky_peg	Black Soil	22.5	13.0	559.8	67.0	135.0
3643	2017	Jety_Ogyz_peg	Light Soil	31.0	14.0	612.0	63.0	1560.0
4854	2019	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	24.5	12.5	811.2	36.0	650.0
3490	2017	Tupsky_peg	Black Soil	30.5	14.5	612.0	43.0	713.0
6998	2014	Tupsky_peg	Black Soil	29.0	11.5	559.8	41.0	2025.0

Для построения модели с учетом особенностей регионов Иссык-кульской области исходная база данных без учета временных особенностей была преобразовано в следующую структуру.

	Location	Soil Type	Max_Temperature	Min_Temperature	Rainfall	Humidity	Yield Kg/ha
0	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	31.0	13.0	811.2	68.0	980.0
1	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	30.5	16.0	811.2	72.0	670.0
2	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	29.5	14.0	811.2	68.0	730.0
3	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	30.0	13.0	811.2	54.0	710.0
4	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	31.0	12.0	811.2	70.0	780.0

Для обучения модели выделим теперь прогнозируемую и основную обучающую часть базы данных. Вот ее структура. Обучающая множество базы данных.

	Location	Soil Type	Max_Temperature	Min_Temperature	Rainfall	Humidity
0	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	31.0	13.0	811.2	68.0
1	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	30.5	16.0	811.2	72.0
2	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	29.5	14.0	811.2	68.0
3	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	30.0	13.0	811.2	54.0
4	Issyk_Kulsky_peg	Black Soil	31.0	12.0	811.2	70.0

Ниже представлено

```
0 980.0
1 670.0
2 730.0
3 710.0
4 780.0
```

```
...
8072 1710.0
8073 2030.0
8074 1325.0
8075 1743.0
8076 1765.0
```

Name: Yield Kg/ha, Length: 8077, dtype: float64

Для дальнейшего изучения базы данных необходимо, создать фиктивные переменные для обучающего множества в следующем виде.

Max_Temperature	Min_Temperature	Rainfall	Humidity	Location_Issyk_Kulsky_peg	Location_Jety_Ogyz_peg	Location_Tupsky_peg	Soil_Type_Light_Soil
612	27.0	14.0	811.2	60.0	0	0	1
845	29.5	12.5	811.2	68.0	0	0	1
624	28.5	18.0	811.2	51.0	0	0	1
1640	30.0	14.5	543.8	52.0	0	1	0

Далее мы должны стандартизовать исходную базу и разделит ее на данные обучения и тестирования.

```
# Вывод формы нашего обучающего и тестового набора
print(X_train.shape)
print(X_test.shape)
print(y_train.shape)
print(y_test.shape)
```

```
(6461, 8)
(1616, 8)
(6461,)
(1616,)
```

Как видно из данных всего обучающих данных, включая урожайность 6451 с 8 признаками. Для тестирования выделено 1616 тестовых данных.

Для анализа ниже приведен y_test-y_pred прогнозирование урожайности с помощью алгоритма случайный лес.

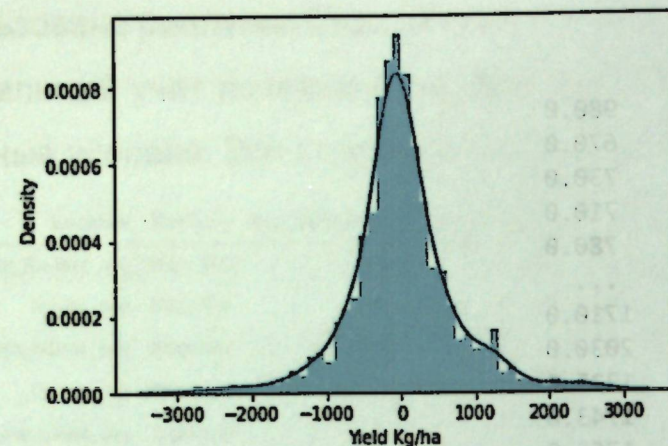


Рис.1. Расположения данных разности прогнозирования $Y_{test} - Y_{Pred}$
Расположения данных тестирования Y_{test} и прогнозирования Y_{Pred} выглядит таким образом.

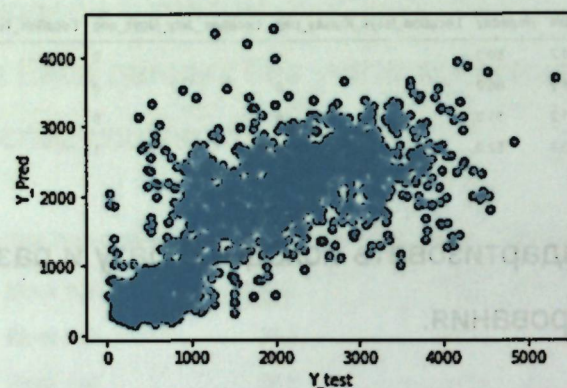


Рис.2. Расположения данных прогнозирования Y_{test}, Y_{Pred} на основе случайного леса

Вот характеристика R^2 , являющиеся наиболее важным свойством модели.

```
metrics.r2_score(y_test, y_pred)
0.592475911991121
```

Из листингов выше мы видим, данные разности $y_{test} - y_{pred}$ расположены по нормальному распределению и что тестовые и обучающие

данные густо расположены и лидером прогноза является алгоритм градиентного бустинга — xgboost с прогнозными значениями на тестовых и обучающих данных.

```
model.score(X_test, y_test)
0.6111430552452045

model.score(X_train, y_train)
0.8135386918155929
```

Изменения разности $y_{test} - y_{pred}$ при этом выглядит следующим образом.

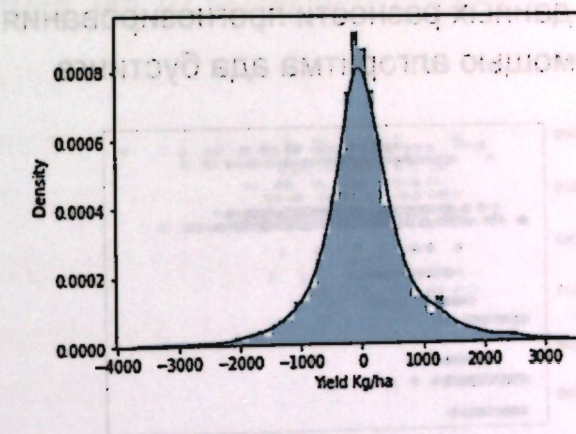


Рис.3. Расположения данных разности прогнозирования $Y_{test} - Y_{Pred}$ для градиентного бустинга.
Расположения данных Y_{test} и Y_{Pred}

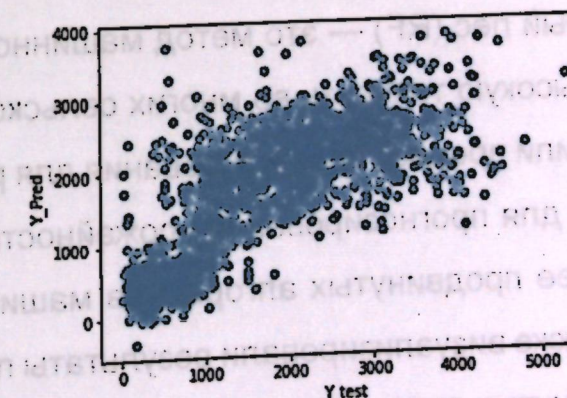


Рис.4. Расположения данных прогнозирования Y_{test}, Y_{Pred} с помощью алгоритма градиентного бустинга

Построение регрессионной модели на основе Адабусты –Ada Boost дали следующие результаты

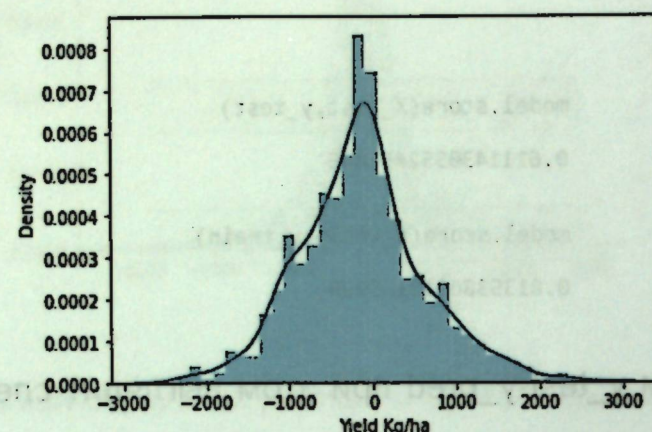


Рис.5. Расположения данных разности прогнозирования $Y_{test}-Y_{Pred}$ с помощью алгоритма ада бустинга

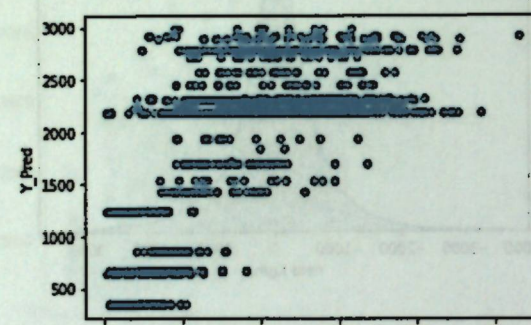


Рис.6. Расположения данных прогнозирования Y_{test}, Y_{Pred} с помощью алгоритма ада бустинга

Заключение. Случайный лес (RF) — это метод машинного обучения, который доказал свою высокую точность во многих сельскохозяйственных приложениях. Мы изучили процесс прогнозирования для расширения возможностей метода RF для прогнозирования урожайности кукурузы с помощью других наиболее продвинутых алгоритмов машинного обучения. В данной статье мы, также визуализировали результаты прогнозирования с применением продвинутых алгоритмов машинного обучения. Получены оценки точности моделей с помощью методов машинного обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ali, A. M., Abouelghar, M. A., Belal, A.-A., Saleh, N., Younes, M., Selim, A., et al. (2022). Crop yield prediction using multi sensors remote sensing (review article). Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. 25, 711–716. doi:10.1016/j.ejrs.2022.04.006
2. Archontoulis, S. V., Castellano, M. J., Licht, M. A., Nichols, V., Baum, M., Huber, I., et al. (2020). Predicting crop yields and soil-plant nitrogen dynamics in the US Corn Belt. Crop Sci. 60 (2), 721–738. doi:10.1002/csc2.20039
3. Arnault, J., Rummier, T., Baur, F., Lerch, S., Wagner, S., Fersch, B., et al. (2018). Precipitation sensitivity to the uncertainty of terrestrial water flow in WRF-Hydro: An ensemble analysis for central Europe. J. Hydrometeorol. 19 (6), 1007–1025. doi:10.1175/jhm-d-17-0042.1

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Кожоголов Камчибек Чонмурунович, академик НАН КР, доктор технических наук, профессор, директор Института геомеханики и освоения недр НАН КР, igionnankr@gmail.com;
2. Сатыбалдиев Нарынбек Мадыярович, кандидат технических наук, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, с.н.с., satybal@gmail.com;
3. Алешин Юрий Георгиевич, к.т.н., зав лаб Института геомеханики и освоения недр НАН КР, к.т.н., г.Бишкек, ул. Медерова 98, e-mail: geofizika@list.ru;
4. Исаева Гулмира Сейтназирова, кандидат физико-математических наук, доцент Института геомеханики и освоения недр НАН КР, зав.лаб., gulmira.isaeva12@gmail.com;
5. Ким Эльвена Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Института геомеханики и освоения недр НАН КР. e-mail: elvenakim@mail.ru;
6. Воробьев Александр Егорович, доктор техн. наук, профессор Грозненского государственного нефтяного технического университета имени акад. М. Д. Миллионщикова, e-mail: fogel_al@mail.ru;
7. Кожоголова Гульмира Камчыбековна, сотрудник Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке, e-mail: ifmgrp@yandex.ru;
8. Тажибаев Кушбакали Тажибаевич, заведующий лабораторией Института геомеханики и освоения недр НАН КР, д.т.н, профессор, г. Бишкек, igion.nankr@gmail.com, ул.Медерова 98, Кыргызстан

9. Сулайманов Чынгыз Касымбекович, ведущий взрывник Кумтор Голд Компани, sulaimanov.chyngyz@mail.ru, ул. Ибраимова 24, г. Бишкек, Кыргызстан
10. Сыдыкова Алымбубу Субанкуловна, научный сотрудник лаборатории «ГМ» ИГОН НАН КР, baikalbek53@gmail.com
11. Эмильбеков Байкалбек Эмильбекович, к.ф-м.н., с.н.с. лаборатории «ГМ» ИГОН НАН КР, baikalbek53@gmail.com
12. Сабитов Барат Рахманович, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой "Информационные технологии и программирования" Кыргызского национального университета им. Ж.Баласагына, sabitov.baratbek@mail.ru;
13. Картанова Асель Джумановна, кандидат физико-математических наук, доцент «Информационные системы и технологии» ИНИТ КГУСТА им. Н.Исанова, e-mail: a.kartanova@mail.ru;
14. Орозобекова Аида Кубанычбековна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная информатика» КГУСТА им. Н. Исанова, oakk@mail.ru;
15. Шеримбекова, Эльзат Бактыбековна, ст. преп каф ПИ КГУСТА им. Н. Исанова, elya29.01@mail.ru;
16. Турдубаева Аида Бактыбековна, аспирант кафедры Прикладная информатика КГТУ им. И. Раззакова, e-mail: aida.baktybekovna1212@gmail.com;
17. Тенирбеди уулу Илимбек, магистрант каф Прикладная информатика КГТУ им. И. Раззакова, kyrgyz629@gmail.com;
18. Алмабекова Наргиза Алмабековна, магистрант КГНУ им. Баласагына, nakualmabekova@mail.ru
19. Джунушалиева Айдай Джумадиловна, магистрант КГНУ им. Баласагына, aidaimond5@gmail.com
20. Цю Ифен, магистрант КГНУ им. Баласагына, kamilaaja@mail.ru
21. Чжан Цайцзюй магистрант КГНУ им. Баласагына, kamilaaja@mail.ru

Требования по оформлению статей для публикации в журнале «Современные проблемы механики»

1. Статья представляется на бумажном носителе и в электронном виде. Название файла должно соответствовать фамилии первого автора. Бумажная копия должна быть подписана всеми авторами.
2. Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word 2003, 2007, 2010. Формат А4 (книжный). Поля: все по 20мм. Межстрочный интервал – одинарный. Шрифт Arial. Размер кегля (символов) – 14 пт. Рекомендуемый объем статьи 4-10 страниц.
3. Публикуемая в журнале статья должна состоять из следующих последовательно расположенных элементов:
 - шифр УДК – слева, обычный шрифт;
 - заголовок (название) статьи – по центру, шрифт полужирный, буквы – прописные (на русском, кыргызском и английском языках);
 - фамилия и инициалы автора(ов) – по центру, полужирный шрифт (на русском, кыргызском и английском языках);
 - место работы – по центру, обычный шрифт (на русском, на кыргызском и на англ яз);
 - аннотация (на кыргызском, русском и английском языках) до 6 строк и ключевые слова (5-10 слов);
 - текст статьи. Рисунки (графики) и таблицы должны располагаться по тексту после ссылки на него. Сокращения и условные обозначения допускаются только принятые в международной системе единиц сокращения мер, физических, химических и математических величин, терминов и т.п. Набор формул осуществляется в тексте только в редакторе Math Type.

- список литературы. Список цитируемой литературы приводится в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание.

Общие требования и правила составления. В списке источники располагаются в порядке их упоминания в статье. Отсылки в тексте статьи заключают в квадратные скобки, например: [5]. Элементы статьи отделяются друг от друга одной пустой строкой.

На отдельной странице предоставляются сведения об авторе (ах), которые содержат данные:

- фамилия, имя, отчество полностью;
- ученая степень, ученое звание;
- место адрес работы, занимаемая должность;
- контактный телефон (рабочий, домашний, сотовый); e-mail.

4. Статья должна иметь четкие структурные части: введение (вводная часть, постановка проблемы), методика решения (исследования) проблемы, результаты исследований, выводы (заключительная часть) и список литературы.
5. Рекомендуется дать ссылки в разделе «Литература» на статьи, выпущенные в предыдущих номерах «Журнала «Современные проблемы механики сплошных сред»;
6. Не рекомендуется в одной статье дать подстраничную ссылку и общую послетекстовую ссылку, оптимально последнее.
7. Не рекомендуется в одной статье большое количество авторов (5-7 и более). Оптимально один автор или 3 автора в одной статье.
8. Не рекомендуется текст статьи с объемом менее 5 стр., такие статьи не будут считаться статьями и при размещении на сайт НЭБ будут относиться к сообщениям.
9. Проверить статью на антиплагиат. <https://text.ru/antiplagiat>.

СОДЕРЖАНИЕ

стр

1.	Кожогулов К.Ч., Сатыбалдиев Н.М. О КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕ- СУРСАХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	3
2.	Алёшин Ю. Г. РЕАЛИЗАЦИЯ ИНДЕКСНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА РИСКОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА В РЕЧНОЙ ДОЛИНЕ	14
3.	Кожогулов К.Ч., Исаева Г.С., Сатыбалдиев Н.М. ПЕРСПЕКТИВЫ КЫРГЫЗСТАНА В ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ.....	27
4.	Алёшин Ю. Г. ИНДЕКСНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА РИСКОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩ НА ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ: ПРИНЦИПЫ И ПРОЦЕДУРЫ.....	35
5.	Ким Э.А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ГИД- РОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ.....	48
6.	Воробьев А.Е., Кожогулова Г.К. НОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РОЛИ ГЛИН В ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГЕОМАССЫ ОПОЛЗНЯ.....	56
7.	Тажибаев К.Т., Сулайманов Ч.К. ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА РАЗРАБОТКИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	69
8.	Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЕФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРАВОБЕРЕЖНОГО СКЛОНА ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС.....	77
9.	Сабитов Б.Р., Картанова А., Орозобекова А.К., Шеримбекова Э.Б., Турдубаева А.Б., Тенирбеди у И, Алмабекова Н.А., Джунушалиева А.Д., Цю Ифен, Чжан Цайцзюй ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАДАЧ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	85
10.	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	94
11.	ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ	96
12.	СОДЕРЖАНИЕ (на русском, кыргызском и английском языках)	98
		101

МАЗМУНУ

бет

1.	Кожогулов К.Ч., Сатыбалдиев Н.М. КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ӨТӨ МААНИЛҮҮ МИНЕРАЛДЫК РЕСУРСТАРЫ ЖӨНҮНДӨ.....	3
2.	Алешин Ю. Г. ДАРЫЯ ӨРӨӨНҮНДӨГҮ КОЛДОНУУ КОММУНИСТИНИН ТООБЕКТҮҮЛҮГҮН ТАЛДОО БОЮНЧА ИНДЕКСТИК МЕТООДУН ИШКЕ АШЫРУУ.....	14
3.	Кожогулов К.Ч., Исаева Г.С., Сатыбалдиев Н.М. КЫРГЫЗСТАНДЫН ЖАШЫЛ ЭНЕРГИЯНЫ КОЛДОНУУ МЕНЕН КЕН КАЗУУ ЖАНА МЕТАЛЛ ӨНДҮРҮҮ КЕЛЕЧЕГИ...	27
4.	Алешин Ю. Г. ТООЛОРДУН КУЙРУКТАРЫ ҮЧҮН КОРКУНУЧТУУЛУККА ИНДЕКСТИ ТАЛДОО МЕТОДИ: ПРИНЦИПТЕР ЖАНА ПРОЦЕДУРАЛАР.....	35
5.	Ким Э.А. ГИДРОТЕХНИКАЛЫК КУРУЛУШТУН ФИЛЬТРАЦИЯЛЫК ЧЫГЫМЫН КАМСЫЗ КЫЛУУ.....	48
6.	Воробьев А.Е., Кожогулова Г.К. ЖЕР КӨЧКҮНҮН ГЕОМАССАСЫН ЖЫЛДЫРУУДА ЧОПОЛОРДУН РОЛУН ЖАҢЫ ЧЕЧМЕЛӨӨ.....	56
7.	Тажибаев К.Т., Сулайманов Ч.К. ПАЙДАЛУУ КЕН ЖАТАКТАРЫН КАЗЫПА ИШТЕТҮҮДӨ АЙКАЛЫШ-КАН ЫКМАНЫ КОЛДОНУУ.....	69
8.	Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э. ТОКТОГУЛ ГЭСИНИН ОҢ ЖЭЭГИНДЕГИ ЭҢКЕЙИШТИН ДЕФОРМАЦИЯСЫНЫН МОНИТОРИНГИНИН МААЛЫМАТТАРЫН ИШТЕТҮҮ МЕТОДИКАСЫ.....	77
9.	Сабитов Б.Р., Картанова А., Орозобекова А.К., Шеримбекова Э.Б., Турдубаева А.Б., Тенирбеди у И, Алмабекова Н.А., Джунушалиева А.Д., Цю Ифен, Чжан Цайцзюй МАШИНА МЕНЕН ҮЙРӨНҮҮ МЕНЕН АЙЫЛ ЧАРБА МИЛДЕТТЕРИН БИЛҮҮ.....	85
10.	АВТОРЛОР ТУУРАЛУУ МААЛЫМАТ.....	94
11.	ЖУРНАЛГА ЖАРЫЯЛОО ҮЧҮН ДОКУМЕНТТЕРГЕ ТАЛАПТАР...	96
12.	МАЗМУНУ (кыргыз, орус жана англис тилдеринде).....	98
		101

CONTENTS

1.	Kozhogulov K.Ch., Satybaldiev N.M. ABOUT CRITICAL MINERAL RESOURCES OF THE KYRGYZ REPUBLIC.....	3
2.	Aleshin Yu. G. IMPLEMENTATION OF THE INDEX METHOD FOR THE ANALYSIS OF TAILINGS DAM RISKS IN RIVER VALLEY.....	14
3.	Kozhogulov K.Ch., Isaeva G.S., Satybaldiev N.M. PROSPECTS OF KYRGYZSTAN IN THE EXTRACTION AND PROCESSING OF METAL ORES USING GREEN ENERGY..	27
4.	Aleshin Yu. G. INDEX METHOD FOR ANALYZING THE RISKS OF TAILINGS DAM IN A MOUNTAINOUS AREA: PRINCIPLES AND PROCEDURES.....	35
5.	Kim E.A. ENSURING THE FILTRATION STRENGTH OF THE HYDRO- ENGINEERING STRUCTURE.....	48
6.	Vorobyev A.E., Kozhogulova G.K. A NEW INTERPRETATION OF THE ROLE OF CLAYS IN THE MOVEMENT OF LANDSLIDE GEOMASS.....	56
7.	Tazhibayev K.T., Sulaimanov C.K. APPLICATION OF THE COMBINED METHOD OF DEVELOPMENT IN MINERAL DEPOSITS.....	69
8.	Sydykova A.S., Emilbekov B.E. DATA PROCESSING OF DEFORMATION MONITORING THE TOK-TOGUL HPP RIGHT-BANK SLOPE METHODOLOGY...	77
9.	Sabitov B.R., Kartanova A., Orozobekova A.K., Sherimbekova E.B., Turdubayeva A.B., Tenirbedi u I, Almabekova N.A., Dzhunushalieva A.D., Zu Ifen, Chjan Zayzshuy FORECASTING AGRICULTURAL TASKS USING MACHINE LEARNING.....	85
10.	INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	94
11.	REQUIREMENTS FOR PAPERS FOR PUBLICATION.....	96
12.	CONTENTS (in russian, kyrgyz and english languages).....	98
		101

Подписано к печати 20.03.2023 г.
Формат 60x84 1/8. Объем 12,6 п.л.
Бумага офсетная. Тираж 200 экз

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова

Учебно-издательский центр «Авангард»
720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б

I SSN 1694-6065



9 771694 606007