Дзапаров В.Х., Габараев Г.О., МулуховК.К., Кондратьев Ю.И. Комплексная оценка техногенных минеральных компонентов как частичных заменителей портландцемента в закладочных смесях // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2026. – № 40. – С. 133-141.

УДК 622.273.218:666.94 https://doi.org/10.26160/2658-3305-2026-40-133-141

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ КАК ЧАСТИЧНЫХ ЗАМЕНИТЕЛЕЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЯХ

Дзапаров В.Х., Габараев Г.О., МулуховК.К., Кондратьев Ю.И.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ

Ключевые слова: техногенный минеральный компонент, портландцемент, минеральная добавка, закладочная смесь, хвосты обогащения, химический состав, минеральный состав, пуццолановая активность, потери при прокаливании, дисперсность, снижение клинкерной составляющей.

Аннотация. Исследованы техногенные минеральные материалы хвостохранилищ Тырныаузского вольфрамо-молибденового и Урупского горно-обогатительного комбината, как частичная замена портландцемента в закладочном вяжущем. Использованы данные рентгенофлуоресцентного анализа, рентгеноструктурного анализа, лазерной гранулометрии и физико-механических испытаний лаборатории «ГеоЗакладка». Для трех групп определены SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, модуль основности, силикатный и глиноземистый модули, эквивалент щелочей, потери при прокаливании, содержание серы и дисперсность. Повышенное суммарное содержание SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 не подтверждает пуццолановую активность при преобладании кварца и полевых шпатов. Важный результат анализа состоит в разделении трех механизмов действия техногенного минерального компонента. Первый – физический: заполнение промежутков между более крупными зернами цемента и изменение гранулометрической упаковки. Второй – нуклеационный эффект, который связан с образованием гидратов на поверхности минеральных частиц. Третий механизм – реакционный эффект, который определяется растворением доступных кремнеземистых и алюмосиликатных фаз с образованием вторичных гидратов. По совокупности исходных показателей наиболее приемлем материал Тырныаузского хвостохранилища №2; материал №1 пригоден для ограниченной замены цемента. Для Урупскогоматериала хвостохранилища характерны повышенное содержание серы, повышенные потери при прокаливании, а также присутствие железосодержащих сульфидных и вторичных фаз. Разработана схема лабораторной оценки активности техногенного минерального материала.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF TECHNOGENIC MINERAL COMPONENTS AS PARTIAL REPLACEMENTS FOR PORTLAND CEMENT IN BACKFILL MIXTURES

DzaparovV.Kh., Gabaraev G.O., Mulukhov K.K., Kondratyev Yu.I.

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz

Keywords: technogenic mineral component, Portland cement, supplementary cementitious material, backfill mixture, mine tailings, chemical composition, mineralogy, pozzolanic activity, loss on ignition, particle-size distribution, clinker reduction.

Abstract. Technogenic mineral materials of tailings dams of Tyrnyauz tungsten-molybdenum and Urup mining and processing plant were studied as partial replacement of portland cement in stowing binder. Data from X-ray fluorescence analysis, X-ray diffraction analysis, laser granulometry and physical and mechanical tests of the GeoBookmark laboratory were used. For the three groups, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, modulus of basicity, silicate and alumina modulus, alkali equivalent, loss on ignition, sulfur content, and dispersion were determined. The increased total content of SiO_2, Al_2O_3 and Fe_2O_3 does not confirm pozzolanic activity with the predominance of quartz and feldspars. An important result of the analysis is the separation of the three mechanisms of action of the technogenic mineral component. The first is physical: filling the gaps between larger cement grains and changing the granulometric packaging. The second is the nucleation effect, which is associated with the formation of hydrates on the surface of mineral particles. The third mechanism is the reaction effect, which is determined by the dissolution of available silica and aluminosilicate phases to form secondary hydrates. According to the set of initial indicators, the most acceptable material is the Tyrnyauz tailing dump No. 2; material No. 1 is suitable for limited cement replacement. Urupsk tailings storage is characterized by high sulfur content, increased losses during ignition, as well as the presence of iron-containing sulfide and secondary phases. A scheme for laboratory assessment of the activity of technogenic mineral material has been developed.

Введение. Производство портландцемента остается одной из наиболее энергоемких составляющих технологической схемы приготовления твердеющих закладочных смесей. В подземной разработке рудных месторождений расход вяжущего определяется не только требуемой прочностью искусственного массива, но и стоимостью доставки, помола и хранения цемента. Поэтому снижение клинкерной составляющей при сохранении управляемых свойств закладочного материала представляет актуальную научную задачу.

Цель исследований – выполнить комплексную химико-минералогическую и дисперсную оценку техногенных минеральных компонентов хвостохранилищ Тырныаузского и Урупского горно-обогатительных комплексов с позиций их прямого применения в качестве частичных заменителей портландцемента в закладочных смесях.

Научная новизна заключается в установлении интегральной зависимости допустимой степени частичного замещения портландцемента в закладочной смеси от совокупности химико-минералогических, дисперсных и ограничивающих характеристик хвостов, что позволяет дифференцировать их по механизму действия в цементном вяжущем и обоснованно назначать исходный уровень замещения.

Объект исследования. Объектом исследования являются дисперсные техногенные минеральные материалы хвостохранилищ Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината и Урупского горно-обогатительного комбината, рассматриваемые как потенциальные материалы многокомпонентного цементного вяжущего.

Материалы и методы исследований. Исходную экспериментальную базу сформировали проведенные исследования дисперсных техногенных материаловТырныаузского вольфрамо-молибденового комбината (ТВМК) и Урупского горно-обогатительного комбината (Урупский ГОК). Химический состав получен методом рентгенофлуоресцентного анализа; для ряда микроэлементов применялся ICP-MS. Минеральный состав определяли рентгеноструктурным методом с количественной обработкой по Ритвельду и подтверждением отдельных фаз методом РЭМ-РСМА. Гранулометрические характеристики определены лазерной дифракцией. В совокупной исходной базе химического анализа представлены 1284 пробы, минеральный состав обобщен по 248 представительным пробам, гранулометрическая характеристика – по 256 представительным пробам. Для химического анализа использованы три группы: материал Тырныаузского хвостохранилища №1, материал Тырныаузского хвостохранилища №2 и материал Урупского хвостохранилища (рис. 1). Гранулометрические данные по Тырныаузскому объекту в исходной базе разделены по пляжной и прудковой зонам.



Рис. 1. Схема комплексной оценки техногенного минерального компонента как частичного заменителя портландцемента

Первым расчетным параметром принята сумма массовых долей основных оксидов, участвующих в формировании силикатных, алюминатных и ферритных фаз гидратированного вяжущего:

$$S_{cem} = w(SiO_2) + w(Al_2O_3) + w(Fe_2O_3), \quad (1)$$

где S_{cem} – суммарное содержание основных оксидов, %; $w(SiO_2)$, $w(Al_2O_3)$, $w(Fe_2O_3)$ – массовые доли соответствующих оксидов, %.

Для оценки соотношения основных и кислотных оксидов рассчитан модуль основности:

$$K_b = \frac{w(CaO) + w(MgO)}{w(SiO_2) + w(Al_2O_3)}, \quad (2)$$

где K_b – безразмерный модуль основности; w(CaO), w(MgO) – массовые доли оксидов кальция и магния, %.

Структуру силикатно-алюмоферритной части характеризовали силикатным и глиноземистым модулями:

$$M_s = \frac{w(SiO_2)}{w(Al_2O_3) + w(Fe_2O_3)}, \quad (3)$$

$$M_a = \frac{w(Al_2O_3)}{w(Fe_2O_3)}, \quad (4)$$

где M_S – силикатный модуль; M_a – глиноземистый модуль.

Щелочную составляющую приводили к эквивалентному Na_2O по выражению:

$$R_2O_{eq} = w(Na_2O) + 0,658 \cdot w(K_2O), \quad (5)$$

где R_2O_{eq} – эквивалентное содержание щелочей в пересчете на Na_2O, %; $w(Na_2O)$, $w(K_2O)$ – массовые доли соответствующих оксидов, %.

При последующей экспериментальной проверке массовую долю замещения цемента задавали отношением:

$$r = \frac{m_{TM}}{m_{PC} + m_{TM}}, \quad (6)$$

где r – массовая доля техногенного минерального компонента в вяжущей части, доли единицы; m_{TM} – масса техногенного компонента, кг; m_{PC} – масса портландцемента, кг.

Критерий активности в возрасте t определялся по формуле:

$$I_{a,t} = \frac{f_{c,t}(TM)}{f_{c,t}(0) \cdot 100\%}, \quad (7)$$

где $I_{a,t}$ – индекс прочностной активности в возрасте t, %; $f_{c,t}(TM)$ – прочность образца с техногенным компонентом, МПа; $f_{c,t}(0)$ – прочность контрольного цементного состава, МПа.

Полученные результаты и их обсуждение. Проведенная оценка показывает, что все три группы имеют высокую суммарную долю SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3. Химические показатели и расчетные модули техногенных компонентов сведены в таблицу 1.

Табл. 1. Химические показатели и расчетные модули техногенных компонентов

Материал	SiO_2, %	Al_2O_3, %	Fe_2O_3, %	S_{cem}, %	K_b	M_s	M_a	S / ППП, %
ТВМК №1	62,4	12,8	5,2	80,4	0,090	3,47	2,46	1,2 / 5,3
ТВМК №2	58,7	14,1	6,8	79,6	0,117	2,81	2,07	2,4 / 4,1
Уруп	54,2	11,5	18,6	84,3	0,094	1,80	0,62	8,7 / 14,2

Для Тырныаузского хвостохранилища №1 сумма массовых долей основных оксидов (S_{cem}) составляет 80,4%, для хвостохранилища №2 – 79,6%, для Урупского объекта – 84,3% [1-3]. Полученные значения показателей находятся в пределах, соответствующих установленным критериям химической оценки возможности частичного замещения портландцемента исследуемым материалом [4]. Низкие значения модуля основности (0,090-0,117) указывают на малую долю CaO и MgO относительно SiO_2 и Al_2O_3 и не позволяют

относить исследуемые материалы к высокоосновным гидравлически активным компонентам типа металлургических шлаков. Их применение обосновано преимущественно в качестве частичного заменителя портландцемента с микрофиллерным, нуклеационным и, при наличии реакционноспособных фаз, пуццолановым эффектом.

Силикатный модуль имеет более высокое значение у материалов хвостохранилища ТВМК: 3,47 и 2,81 против 1,80 у материала хвостохранилища Урупского ГОКа. Глиноземистый модуль изменяет своё значение более выраженно: 2,46; 2,07 (ТВМК) и 0,62 (Урупский ГОК) соответственно. Низкое значение глинозёмного модуля (M_a) для материала хвостохранилища Урупского ГОКа является следствием его железосодержащей минералогии.

Эквивалентное содержание щелочей R_2O_{eq} составляет около 3,91% для ТВМК №1, 3,41% для ТВМК №2 и 2,28% для материалов хвостохранилища Урупского ГОКа. Эти значения характеризуют сам техногенный компонент. При малых долях замещения фактический вклад в суммарное содержание щелочей будет пропорционально ниже.

Минеральный состав оценки техногенных материалов представлен в таблице 2.

Табл. 2. Минеральный состав исследуемых техногенных материалов

Минерал	ТВМК, мас.%	Урупский ГОК, мас.%
Кварц	35-45	38,5
Полевые шпаты	20-28	5,8
Слюды	8-15	–
Хлорит	2-5	14,2
Серицит	–	8,6
Карбонаты	5-10	3,2
Пирит	1,2-3,8	12,4
Ярозит	0,5-2,0	4,8
Гипс	0,3-1,5	3,2
Гидроксиды *Fe*	1,0-3,5	6,5

Материалы Тырныаузскоого хвостохранилища имеют кварц-полевошпатовую основу. Кварц составляет 35-45%, полевые шпаты – 20-28%, слюды – 8-15%; карбонаты присутствуют в количестве 5-10% [5-7].

Материалы Урупского хвостохранилища характеризуются более сложным минералогическим составом и большей неоднородностью фазового строения. Пирит составляет в среднем 12,4%, халькопирит – 2,8%, сфалерит – 1,6%, галенит – 0,35%, арсенопирит – 0,48% [8]. Одновременно диагностированы ярозит 4,8%, гипс 3,2% и гидроксиды железа 6,5%. Высокое суммарное содержание $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ само по себе не определяет вяжущую активность материала, поскольку она зависит от минеральной формы и реакционной способности соответствующих фаз.Кроме того, наличие сульфатов требует контроля сроков схватывания [9]. Второй важный аспект – дисперсность исходного хвостового материала. Результаты лазерной гранулометрии приведены в таблице 3.

Табл. 3. Гранулометрические и физические характеристики техногенных материалов

Материал	<20 мкм, %	D_{10}, мкм	D_{50}, мкм	D_{90}, мкм	ρ_S, г/см³	ρ, г/см³	W, %
ТВМК, пляж	13,4	28	85	210	2,72	1,58	8,4
ТВМК, прудок	34,2	8	32	120	2,68	1,42	18,6
Уруп	11,4	22	78	195	2,85	1,72	12,8

Прудковый материал Тырныаузского хвостохранилища характеризуется наибольшей дисперсностью: $D_{10} = 8$ мкм, $D_{50} = 32$ мкм и $D_{90} = 120$ мкм; суммарная доля частиц менее 20 мкм равна 34,2%. Для пляжной зоны D_{50} составляет 85 мкм, доля менее 20 мкм – 13,4%. Материал Урупского хвостохранилища занимает промежуточное положение по D_{50} – 78 мкм, но имеет лишь 11,4% частиц менее 20 мкм. Гранулометрический состав определяет характер

влияния материала на свойства цементного вяжущего. При одинаковой степени замещения более крупные частицы преимущественно усиливают эффект разбавления клинкера, тогда как тонкодисперсная фракция повышает удельную поверхность вяжущей композиции, влияет на водопотребность и способствует формированию центров нуклеации продуктов гидратации.

Плотность частиц материала Урупского хвостохранилища составляет 2,85 г/см³, Тырныаузского – 2,68-2,72 г/см³, что связано с повышенным содержанием тяжелых сульфидных минералов. Различие плотности учитывали при оценке объемной доли твердой фазы, пористости и водопотребности [10-13].

Сочетание химического, минерального и дисперсного уровней позволяет перейти к сопоставительной матрице, сведенной в таблице 4.

Табл. 4. Сопоставительная матрица исходной пригодности техногенных компонентов

Материал	$S_{сет}$, %	S, %	ППП, %	Главное ограничение	Стартовая серия замены
ТВМК №1	80,4	1,2	5,3	Кристаллические силикаты; слюды	5-15%
ТВМК №2	79,6	2,4	4,1	Умеренная сера; кристаллическая матрица	5-15%
Уруп	84,3	8,7	14,2	Сульфиды, ярозит, гипс, Fe-гидроксиды	5%

Материал Тырныаузского хвостохранилища №2 имеет наименьшее число исходных химико-минералогических ограничений для частичного замещения портландцемента.

Материал хвостохранилища №1 сопоставим по совокупности оценочных показателей, но характеризуется несколько большей величиной ППП и более высоким силикатным модулем. Для обеих Тырныаузских групп диапазон замещения 5-15% представляется достаточным для построения зависимости «доля замены – активность – водопотребность – сроки схватывания». Материал Урупского хвостохранилища характеризуется повышенным содержанием серы, часть которой связана в составе минеральных фаз; суммарное содержание оксидов не характеризует непосредственно допустимую степень замещения портландцемента [14-16].

На рисунке 2 представлена сопоставительная карта исходной пригодности компонентов к прямому частичному замещению портландцемента.

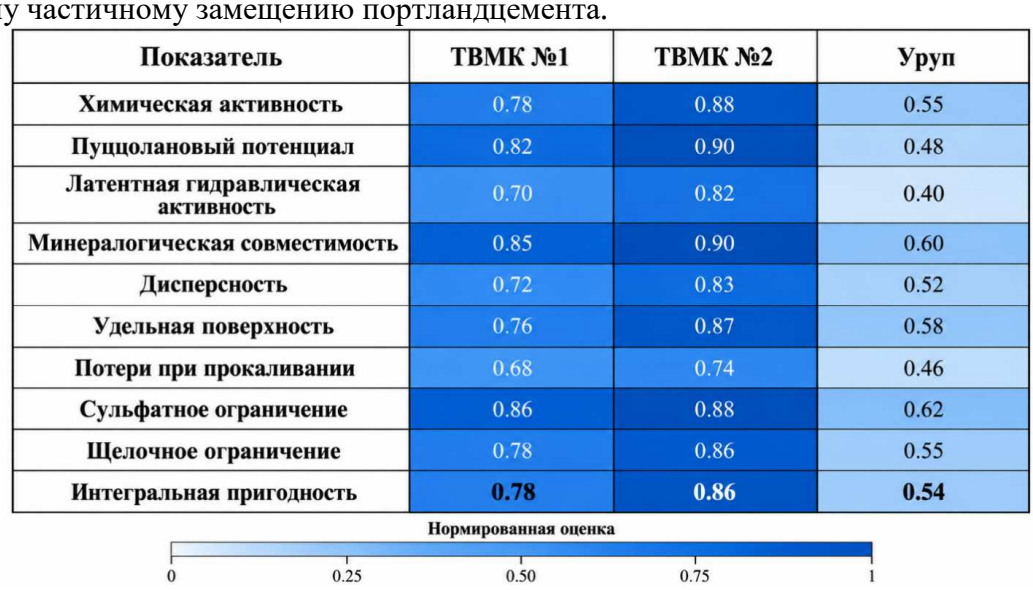


Рис. 2. Сопоставительная карта исходной пригодности компонентов к прямому частичному замещению портландцемента

Результаты сопоставительной оценке исходной пригодности техногенных минеральных материалов к частичному замещению портландцемента приведены в таблице 5.

Для количественного сопоставления интегральной пригодности техногенных компонентов с принятым верхним уровнем замещения портландцемента построена расчетная зависимость, учитывающая совокупность химико-минералогических, дисперсных и ограничивающих показателей, представленной на рисунке 3.

Табл. 5. Сопоставительная оценка исходной пригодности техногенных минеральных материалов к частичному замещению портландцемента

Материал	Химический анализ	Минералогические ограничения	Статус
ТВМК №1	Благоприятный	Кварц, полевые шпаты, слюды	Перспективный
ТВМК №2	Наиболее сбалансированный	Кристаллические силикаты; умеренная S	Приоритет для замещения
Уруп	Высокий S_{cem}, но ограниченная применимость	Пирит, ярозит, гипс, Fe-гидроксиды	Условный

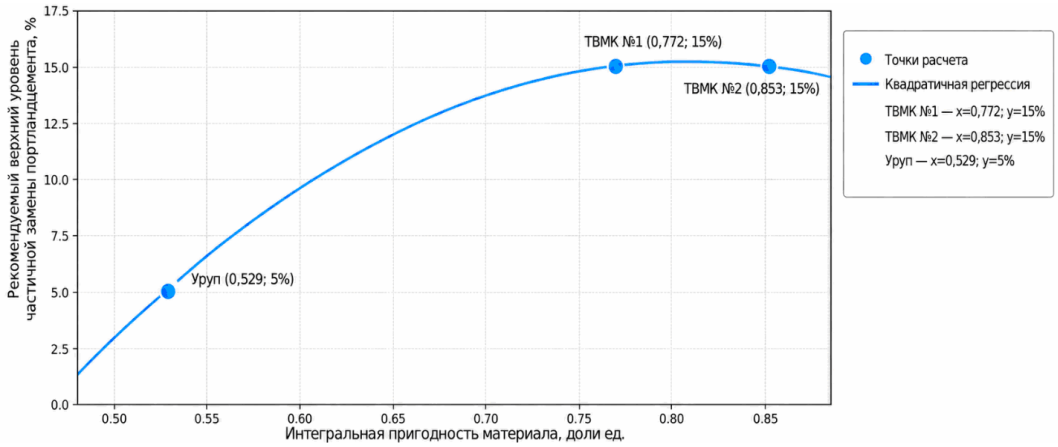


Рис. 3. Расчетная зависимость рекомендуемого уровня частичной замены портландцемента от интегральной пригодности техногенных материалов

Функция регрессии второго порядка:

$$y = -126{,}67x^2 + 205{,}90x - 68{,}47\,, \qquad (8)$$

где x – интегральный показатель пригодности материала, д. ед.

Полученная зависимость отражает снижение допустимого уровня замещения при снижении интегральной пригодности материала: для Тырныаузских материалов хвостохранилища расчетная область достигает 15%, тогда как для материала Урупского хвостохранилища ограничена 5%.

Важный результат анализа состоит в разделении трех механизмов действия техногенного минерального компонента. Первый – физический: заполнение промежутков между более крупными зернами цемента и изменение гранулометрической упаковки. Второй – нуклеационный эффект, который связан с образованием гидратов на поверхности минеральных частиц. Третий механизм – реакционный эффект, который определяется растворением доступных кремнеземистых и алюмосиликатных фаз с образованием вторичных гидратов.

Программа экспериментальных исследований. Для определения рецептуры по результатам аналитической оценки проводилась нормированная серия лабораторных испытаний: контрольный состав 100% портландцемента и опытные составы с 5, 10 и 15% техногенного компонента по массе вяжущего.

Составленная матрица лабораторных исследований частичного замещения портландцемента приведена в таблице 6.

Проверка включала определение нормальной густоты и водопотребности, сроков схватывания, равномерности изменения объема, прочности на сжатие, а также активности по общепринятой методике. Для применения в условиях закладки выработанного пространства к этому набору добавлялся расплыв, водоотделение и прочность в принятые проектом сроки.

При замещении 8-10% прочность сохраняется, содержание портландита снижается, формируются дополнительные C–S–H- и C–A–S–H-фазы. При 11-15% выраженных фазовых изменений не установлено; преобладает уплотнение структуры цементного камня. В этом диапазоне возрастает роль физического действия компонента: частицы заполняют межзерновое пространство и повышают плотность упаковки твердой фазы. Реакционная составляющая при этом становится менее выраженной относительно микрофиллерного эффекта.

Табл. 6. Матрица лабораторных исследований частичного замещения портландцемента

Вариант	Портландцемент, %	Техногенный компонент, %	Назначение	Обязательный контроль	Статус
C_0	100	0	Контрольный состав	В/Ц, сроки схватывания, прочность	Базовый
C_5	95	5	Первичный уровень замены	Активность, вода, объемная стабильность	Для всех материалов
C_{10}	90	10	Промежуточный уровень	То же и *XRD/ТГ*	ТВМК
C_{15}	85	15	Верхний уровень стартовой серии	Активность, вода, объемная стабильность	ТВМК

Практическая область применения. Предлагаемая технологическая схема рассчитана на применение лабораториями горных предприятий и научными центрами, которые располагают XRF/XRD и гранулометрическими данными, но еще не имеют серии цементных испытаний по конкретному отходу. Она позволяет определить, какие материалы целесообразно направлять в дорогостоящий цикл проверки активности, а какие требуют сначала уточнения состава. Тем самым сокращается число произвольных рецептур и уменьшается риск переноса в закладочную систему компонента с неподтвержденной цементной совместимостью.

Заключение. Комплексная оценка показала, что химический состав исследованных техногенных материалов создает предпосылки для их использования в многокомпонентных цементных переделах, но степень этой пригодности существенно различается. Во всех трех группах сумма $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ превышает 79%, однако фазовое состояние этих оксидов, содержание серы, ППП и дисперсность меняют технологическую интерпретацию.

Тырныаузские хвостовые материалы по совокупности исходных признаков имеют более благоприятный профиль для частичного замещения портландцемента. Материал хвостохранилища №2 выделяется минимальными ППП и умеренной сернистостью; материал №1 близок к нему, но требует отдельного учета слюдистой составляющей и водопотребности. Урупский материал характеризуется высокой суммой цементно-значимых оксидов, однако одновременно содержит существенно больше сульфидов, ярозита, гипса, гидроксидов железа и имеет ППП 14,2%.

Выводы

1. Сумма $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ составляет 80,4% для материала Тырныаузского хвостохранилища №1, 79,6% для №2 и 84,3% для Урупского материала.

2. Тырныаузские материалы характеризуются кварц-полевошпатовой и слюдистой основой при сравнительно низкой сернистости, что позволяет рассматривать их прежде всего как потенциальные комбинированные микрофиллерно-реакционные компоненты в составе цементного вяжущего.

3. Фазовый состав материалов Урупского хвостохранилища из-за высокой суммы основных оксидов не позволяет относить к активным пуццолановым или гидравлическим добавкам.

Финансовая поддержка. Работа выполнена в рамках проекта за счет средств федерального бюджета по государственному заданию «Лаборатория разработки экологически чистых и безотходных технологий утилизации техногенного сырья в подземном выработанном пространстве (ГеоЗакладка)». Код научной темы – FEFG-2025-0003.

Список литературы

1. Агарков Н.Б., Хаустов В.В., Лукьяненко Н.А., Карпенко Н.Г. Определение границ опасных деформаций и зон сдвижения горных пород на месторождении Тырныауз // Маркшейдерия и недропользование. – 2022. – №2(118). – С. 46-50.

2. Голик В.И., Гарифулина И.Ю., Абдулхалимов А.Г., Зассеев И.А., Майстров Ю.А. К проблеме безопасности комбинированной разработки месторождения Тырныауз // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – №1. – С. 14-20. – DOI: 10.24000/0409-2961-2021-1-14-20.
3. Голик В.И., Дедегкаева Н.Т., Кожиев Х.Х., Белодедов А.А. Ресурсосберегающая технология утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15, №2(56). – С. 225-233. – DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-225-233.
4. Голик В.И., Габараев О.З., Габараева А.О., Дедегкаева Н.Т. Месторождениям Тырныауза – современную технологию разработки // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – Т. 13, №3(49). – С. 416-425. – DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-416-425.
5. Габараев О.З., Габараева А.О., Дедегкаева Н.Т., Болотбеков Ж. К концепции шахтного подземного выщелачивания металлов // Горные науки и технологии. – 2020. – Т. 5, №4. – С. 349-357. – DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-349-357.
6. Пыталев И.А., Романько Е.А., Бобылева Е.В., Колкова М.С. Нормирование потерь и разубоживания при подэтажно-камерной системе разработки с последующей закладкой // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14, №1(51). – С. 126-133. – DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-126-133.
7. Шапошник Ю.Н., Неверов С.А., Неверов А.А. Бутобетонная закладка на подземных рудниках Крайнего Севера// Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, №1. – С. 282-290. – DOI: 10.15372/FPVGN2021080143.
8. Рыльникова М.В., Джаппуев Р.К., Цупкина М.А., Габараев О.З. Концепция устойчивого развития горнопромышленного региона Кабардино-Балкарии на основе использования хвостов обогащения Тырныаузской фабрики в закладке выработанного пространства // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024.– Т. 16, №1(59). – С. 143-158. – DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-181-196.
9. Васильева М.А., Голик В.И., Зеленцова А.А. Методы интенсификации трубопроводного транспортирования гидросмесей при закладке выработанного пространства // Записки Горного института. – 2025. – Т. 274. – С. 104-116.
10. Герасимов А.М., Устинов И.Д., Зырянова О.В. Использование глиносодержащих отходов в качестве пуццолановых добавок // Записки Горного института. – 2023. – Т. 260. – С. 313-320. – DOI: 10.31897/PMI.2023.33.
11. Земляной М.А., Габараев О.З., Довгаль В.А., Габараева З.И. Обоснование утилизации отходов обогащения Урупского хвостохранилища на основе применения углеродно-микроармированной пастовой закладки с вторичным углеродом // Устойчивое развитие горных территорий. – 2025. – Т. 17, №3. – С. 1447-1457. – DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-3-1447-1457.
12. Земляной М.А., Габараев О.З., Довгаль В.А., Сахнов А.В. Геомеханическое районирование лежалых хвостов Урупского хвостохранилища как основа дифференцированной переработки и закладки // Устойчивое развитие горных территорий. – 2026. – Т. 18, № 1. – С. 157-176. – DOI: 10.21177/1998-4502-2026-18-1-157-176.
13. Габараев О.З., Земляной М.А., Сахнов А.В., Зассеев И.А., Максимов Р.Н. Обоснование блочной системы разработки нагорного месторождения минерального сырья в условиях подготовки запасов штольнями // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №26. – С. 127-132. – doi.org/10.26160/2658-3305-2024-26-127-132.
14. Земляной М.А., Разоренов Ю.И. Обоснование способа вскрытия отдельных пластов мергеля в условиях проектирования решения по выбору направления развития фронта горных работ (на примере Новороссийского месторождения мергеля) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №9. – С. 41-44.
15. Габараев О.З. Исследование геомеханичесих свойств породной закладки в условиях объемного сжатия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – №8. – С. 211-214.
16. Рыльникова М.В., Джаппуев Р.К., Цупкина М.В. Проблемы и перспективы вовлечения в промышленную эксплуатацию отходов переработки руд Тырныаузского месторождения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – №4.– С. 86-96. – DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-86-96.

References

1. Agarkov N.B., Khaustov V.V., Lukyanenko N.A., Karpenko N.G. Determination of the boundaries of hazardous deformations and rock displacement zones at the Tyrnyauz deposit // Mine Surveying and Subsoil Use. 2022, no. 2(118), pp. 46-50.
2. Golik V.I., Garifulina I.Yu., Abdulkhalimov A.G., Zasseev I.A., Maistrov Yu.A. On the problem of safety in the combined development of the Tyrnyauz deposit // Occupational Safety in Industry. 2021, no. 1, pp. 14-20. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-1-14-20.
3. Golik V.I., Dedegkaeva N.T., Kozhiyev Kh.Kh., Belodedov A.A. Resource-saving technology for the disposal of tailings from the processing of non-ferrous metal ores // Sustainable Development of Mountain Territories. 2023, vol. 15. No. 2(56), pp. 225-233. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-225-233.

4. Golik V.I., Gabaraev O.Z., Gabaraeva A.O., Dedegkaeva N.T. To the Ternauz deposits – modern development technology // Sustainable Development of Mountain Territories. 2021, vol. 13. No. 3 (49), pp. 416-425. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-416-425.
5. Gabaraev O.Z., Gabaraeva A.O., Dedegkaeva N.T., Bolotbekov Zh. On the concept of underground mining and leaching of metals // Mining Sciences and Technologies. 2020, vol. 5. No. 4, pp. 349-357. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-349-357.
6. Pytalev I.A., Romanko E.A., Bobyleva E.V., Kolkova M.S. Rationing of losses and dilution in the sub-level chamber mining system with subsequent backfilling // Sustainable Development of Mountain Territories. 2022, vol. 14.No. 1(51), pp. 126-133. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-126-133.
7. Shaposhnik Yu.N., Neverov S.A., Neverov A.A.Rubble-concrete laying in underground mines of the Far North // Fundamental and applied issues of mining sciences. 2021, vol. 8. No. 1, pp. 282-290. DOI: 10.15372/FPVGN2021080143.
8. Rylnikova M.V., Dzhappuev R.K., Tsupkina M.A., Gabaraev O.Z. The concept of sustainable development of the mining region of Kabardino-Balkaria based on the use of tailings from the enrichment of the Tyrnyauz factory in the developed space // Sustainable development of mountainous territories. 2024, vol. 16, no. 1(59), pp. 143-158. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-181-196.
9. Vasilyeva M.A., Golik V.I., Zelentsova A.A. Methods for intensifying pipeline transportation of slurries during backfilling of the worked-out space // Journal of Mining Institute. 2025, vol. 274, pp. 104-116.
10. Gerasimov A.M., Ustinov I.D., Zyryanova O.V. Use of clay-containing waste as pozzolan additives // Journal of Mining Institute. 2023, vol. 260, pp. 313-320. DOI: 10.31897/PMI.2023.33.
11. Zemlyanoy M.A., Gabaraev O.Z., Dovgal V.A., Gabaraeva Z.I. Justification for the disposal of waste from the Urup tailings storage facility based on the use of carbon-micro-reinforced paste backfill with secondary carbon // Sustainable Development of Mountain Territories. 2025, vol. 17, No. 3, pp. 1447-1457. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-3-1447-1457.
12. Zemlyanoy M.A., Gabaraev O.Z., Dovgal V.A., Sakhnov A.V. Geomechanical zoning of the laid-out tailings of the Urupskoye tailings storage facility as the basis for differentiated processing and backfilling // Sustainable Development of Mountain Territories. 2026, vol. 18, No. 1, pp. 157-176. DOI: 10.21177/1998-4502-2026-18-1-157-176.
13. Gabaraev O.Z., Zemlyanoi M.A., Sakhnov A.V., Zasseev I.A., Maksimov R.N. Substantiation of the block system of mining a nagorny deposit of mineral raw materials in conditions of preparation of reserves by tunnels // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 26, pp. 127-132. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-26-127-132.
14. Zemlyanoi M.A., Razorenov Yu.I. Justification of the method of opening individual strata of marl in the conditions of designing a solution for choosing the direction of development of the mining front (using the example of the Novorossiysk marl deposit) // Mining Information and Analytical Bulletin. 2011, no. 9, pp. 41-44.
15. Gabaraev: O.Z. Investigation of geomechanical properties of rock deposits under conditions of volumetric compression // Mining information and Analytical bulletin. 2001, no. 8, pp. 211-214.
16. Rylnikova M.V., Dzhappuev R.K., Tsupkina M.V. Problems and prospects of involving waste from mining of the Tyrnyauz deposit in industrial exploitation // Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences. 2021, no. 4, pp. 86-96. DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-86-96.

Сведения об авторах:	*Information about authors:*
Дзапаров Вячеслав Хаматканович – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории разработки экологически чистых и безотходных технологий утилизации техногенного сырья в подземном выработанном пространстве (ГеоЗакладка)	**Dzaparov Vyacheslav Khamatkanovich** – senior researcher at the research laboratory of the development of environmentally friendly and waste-free technologies for the disposal of man-made raw materials in the underground mined-out space (GeoZakladka)
Габараев Георгий Олегович – лаборант научно-исследовательской лаборатории разработки экологически чистых и безотходных технологий утилизации техногенного сырья в подземном выработанном пространстве (ГеоЗакладка)	**Gabaraev Georgy Olegovich** – laboratory assistant of the research laboratory for the development of environmentally friendly and waste-free technologies for the disposal of man-made raw materials in underground mined-out spaces (GeoZakladka)
Кондратьев Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела	**Kondratyev Yuri Ivanovich** – doctor of technical sciences, professor, professor of the mining Department
Мулухов Казбек Казгериевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теоретической и прикладной механики	**Mulukhov Kazbek Kazgerievich** – doctor of technical sciences, professor, and professor of the Department of theoretical and applied mechanics
kafedra-trm@skgmi-gtu.ru	

Получена 20.09.2026