

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТАХ  
ЗАКОНСЕРВИРОВАННЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ЗАО  
"ЗАНГЕЗУРСКИЙ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫЙ КОМБИНАТ"**

**Л.А. Манукян<sup>1</sup>, К.В. Арутюнян<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Национальный политехнический университет Армении,*

*<sup>2</sup>ЗАО "Зангезурский медно-молибденовый комбинат"*

Переработка техногенного сырья, каким являются хвосты обогащения, связана с решением комплекса задач, которые возникают на первоначальных стадиях разработки хвостохранилищ, в частности, выявление закономерностей распределения полезных металлических компонентов в толще хвостовых отложений хвостохранилища и установление зависимостей их содержаний от разных физико-механических характеристик лежалых хвостов.

В данной статье изучен международный опыт, а также представлены результаты проведенных в последнее время на законсервированных хвостохранилищах ЗАО "Зангезурский медно-молибденовый комбинат" исследований по выявлению зависимостей изменения содержаний полезных компонентов от гранулометрического состава лежалых хвостов. Исследования показали прямую корреляционную связь между содержанием полезных компонентов и гранулометрическим составом лежалых хвостов. В частности, отмечены высокие содержания полезных компонентов в хвостах, расположенных в пляжных зонах и представленных крупнозернистой фракцией, в то время как мелкие глинистые фракции из переходных и прудковых зон хвостохранилищ представлены низким содержанием металлических полезных компонентов и менее пригодны для вторичной переработки.

Согласно результатам химического анализа отобранных проб лежалых хвостов хвостохранилищ ЗАО "Зангезурский ММК", средние содержания меди и молибдена в них составляют 0,119% и 0,014% соответственно. По материалам химических исследований отобранных проб построены полигоны распределения различных металлов, которые могут быть использованы на этапе исследований и разработки технологий переработки и извлечения этих компонентов из лежалых хвостов.

Подчеркивается значимость переработки лежалых хвостов для повышения экономической эффективности и снижения экологической нагрузки предприятиями горнодобывающей отрасли Республики Армения на окружающую среду. Переработка техногенных отходов может способствовать решению важных экологических проблем, таких как освобождение территорий, ранее занятых под хвостохранилища, и предотвращение загрязнения окружающей среды. Внедрение технологий вторичного извлечения полезных компонентов из хвостов позволит не только увеличить объем производства ценных металлов, но и снизить необходимость разработки новых

месторождений. Таким образом, переработка лежалых хвостов представляет собой перспективное направление, способствующее устойчивому развитию горнодобывающей промышленности и улучшению экологической ситуации в регионе.

**Ключевые слова:** хвостохранилище, лежалые хвосты, гранулометрический состав, медь, молибден, содержание.

**Введение.** В настоящее время в горнодобывающей отрасли нарастающие объёмы перерабатываемых руд приводят к значительному росту количества техногенных отходов. Рассмотрение последних в качестве потенциального источника получения дополнительной прибыли и решения ряда актуальных вопросов, таких как охрана окружающей среды и высвобождение территорий для повторного складирования новообразовавшихся отходов, является требованием времени. Для оценки возможности вовлечения заскладированных в хвостохранилищах хвостов обогащения в процесс переработки необходимо провести детальные исследования с определением вещественного состава лежалых хвостов. Целью выполненных нами исследований является выявление закономерностей распределения полезных компонентов в толще хвостовых отложений хвостохранилища, а также установление корреляционных зависимостей между разными типами химических соединений металлических компонентов в составе техногенного сырья.

Перспектива переработки техногенных отходов особенно актуальна для южных регионов Республики Армения, где вследствие деятельности горнодобывающих предприятий в законсервированных хвостохранилищах накоплены многомиллионные тонны хвостов обогащения. Удаление лежалых хвостов из законсервированных хвостохранилищ с целью переработки важно и тем, что в связи со сложными рельефными условиями трудно найти соответствующие новые территории для строительства нового хвостового хозяйства, требующие больших капитальных затрат. При этом появляется возможность повторного использования опорожненного хвостохранилища для складирования технологических хвостов обогащения руды.

**Постановка задачи и методика исследования.** Исследования показали, что установление распределения металлических компонентов в толще хвостовых отложений хвостохранилища является сложной задачей, где не выявлены закономерности изменения содержания металлических соединений в пространстве чаши законсервированного хвостохранилища. Установлено, что хвосты в пляжных зонах представлены в основном зернистой фракцией со сравнительно высоким содержанием полезных компонентов, а хвосты переходной и прудковой зон хвостохранилища представлены мелкими, в

основном глинистыми фракциями, которые почти непригодны для вторичного обогащения.

Значительную роль играют размеры хвостохранилища: установлено, что полезные металлические компоненты с более высоким содержанием встречаются в глубинных слоях хвостохранилища [1-3]. Здесь важную роль играют гранулометрический состав и класс крупности хвостов. Исследования, проведенные на лежалых хвостах обогатительной фабрики Солтон-Сары, расположенной на территории Тянь-Шаньского района Нарынской области Кыргызской Республики, показали, что около 75% золота, обнаруженного в лежалых хвостах, сосредоточено в основном в двух классах крупности:  $-0,2+0,1$  и  $-0,044+0,0$  мм. Содержание золота в первом классе составило 49,19%, среднее содержание – 1,31 г/т, во втором классе – 24,9% и 0,85 г/т соответственно. В остальных классах оно находится примерно в равных пропорциях и колеблется в пределах 5,7...11,47% [4].

Проведенные исследования гранулометрического состава и результаты химического анализа лежалых хвостов хвостохранилища, образованного в результате деятельности медно-полиметаллического рудника, расположенного в румынском административном округе Сучава, показали, что около 70% хвостов состоит из мелких и очень мелких частиц. Также было установлено, что высокие содержания меди, цинка, железа, марганца, мышьяка встречаются в пробах с мелкими и очень мелкими частицами [5].

Результаты исследований проб лежалых хвостов из чаши и дамбы хвостохранилища №1 Норильской обогатительной фабрики показали, что в пробах, взятых из чаши, содержание класса  $-71$  мкм составило 69,88%, а в пробах, взятых из дамбы, содержание того же класса составило 32,87%. Химическим анализом установлено, что материал пробы хвостов, отобранной с дамбы, намного богаче, чем материал пробы, взятой с чаши хвостохранилища. Так, содержание полезных компонентов в пробах, отобранных с дамбы, составило соответственно:  $Ni_{\text{общ}}$  (никель) - 0,227%, что в 1,65 раза выше, чем содержание в чаше,  $Cu$  (медь) - 0,2%, что в 2,98 раза выше, чем содержание в чаше,  $Pb$  (свинец) - 0,596 г/т, что в 1,71 раза выше, чем содержание в чаше, и  $Pd$  (палладий) - 1,419 г/т, что в 1,82 раза выше, чем содержание в чаше хвостохранилища [6].

Исследования по распределению полезных компонентов в лежалых хвостах, проведенные на хвостохранилище Артемовской ЗИФ Красноярского края Российской Федерации, показали, что золото в основном было сконцентрировано в классе  $-0,074$  мм, а по другим классам этот металл распределялся сравнительно равномерно [7].

Анализ проведенных выше исследований показывает, что вопрос, связанный с установлением распределения полезных компонентов в разных частях хвостохранилища, является важным фактором с точки зрения обоснования технологии переработки лежалых хвостов.

**Результаты исследования.** Переработка лежалых хвостов может сыграть ключевую роль в укреплении устойчивого развития горнодобывающей промышленности Республики Армения. В Сюникской области расположены крупные горнодобывающие предприятия РА: ЗАО "Зангезурский ММК" и "Агаракский ММК", которые за долгие годы деятельности накопили большие запасы техногенного сырья. К примеру, сырьевая база техногенных образований ЗАО "Зангезурский ММК" представлена в настоящее время законсервированными тремя хвостохранилищами – Дзоратех, Пухрут и Вохчи. Большие запасы хвостов заскладированы на сооружаемом в ущелье р. Арцваник хвостохранилище речного типа, где в настоящее время уложены сотни млн м<sup>3</sup> хвостовых отложений, что входит в число крупных гидротехнических сооружений в мире.

В последнее время на указанных выше законсервированных хвостохранилищах ЗАО "Зангезурский ММК" проводились геологоразведочные работы с отбором образцов и последующим проведением лабораторных исследований с определением содержания меди и молибдена. На рис. 1–3 представлены гистограммы распределения содержаний меди и молибдена в хвостовых отложениях законсервированных хвостохранилищ ЗАО "Зангезурский ММК".

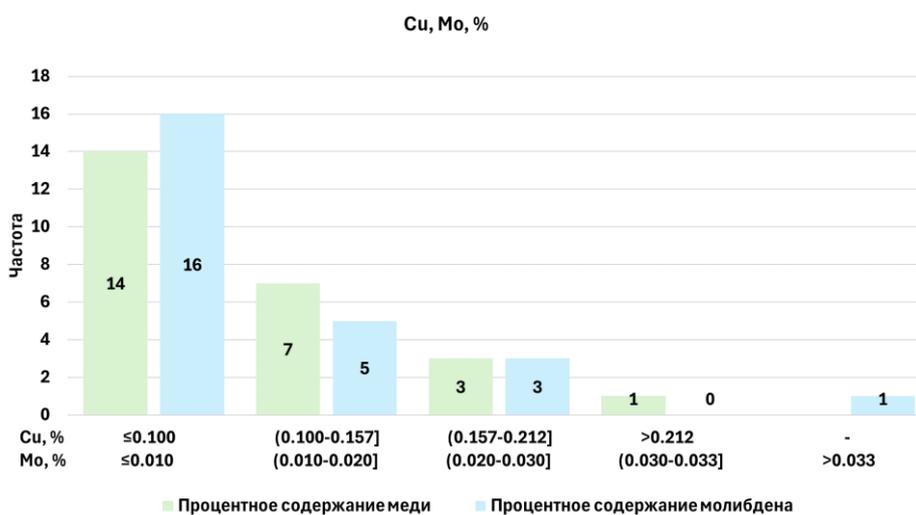
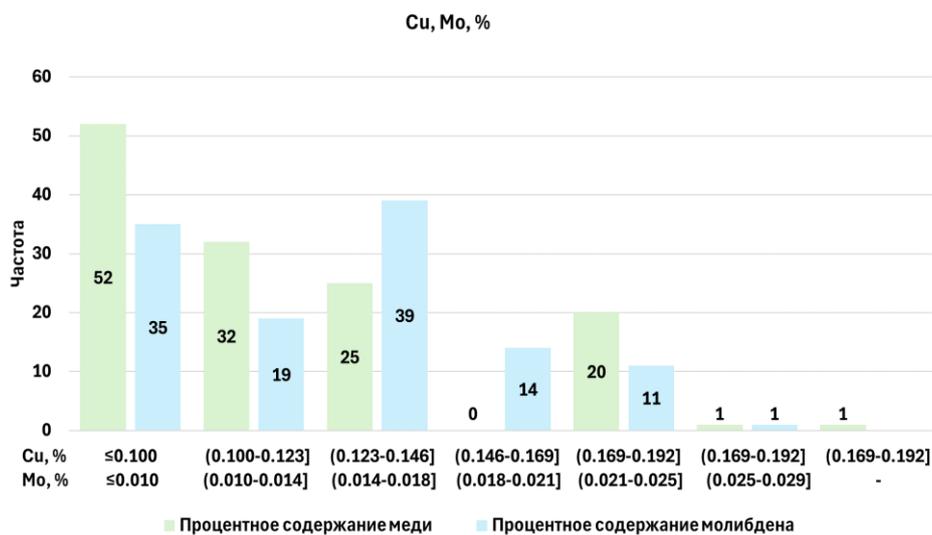
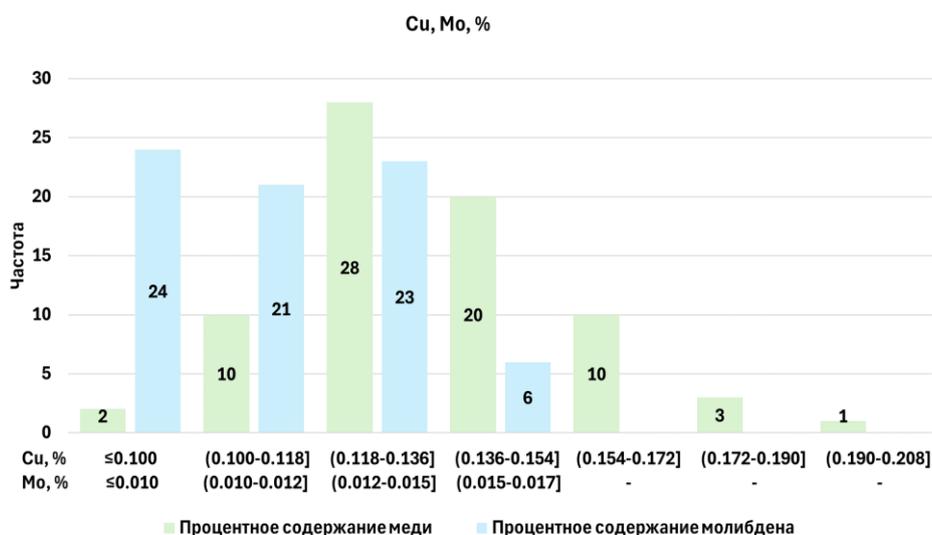


Рис. 1. Гистограммы распределения содержания меди и молибдена в хвостах законсервированного хвостохранилища на р. Вохчи



*Рис. 2. Гистограммы распределения содержания меди и молибдена в хвостах законсервированного хвостохранилища на р. Пухрут*



*Рис. 3. Гистограммы распределения содержания меди и молибдена в хвостах законсервированного хвостохранилища Дзоратех*

На законсервированном хвостохранилище в ущелье р. Вохчи в 2022 году, кроме химического исследования проб хвостов, было проведено также лабораторное определение гранулометрического состава лежалых хвостов. Для этих целей по всей длине хвостохранилища была пройдена траншея, из

боковых откосов которой на расстоянии 100 м друг от друга были отобраны пробы в количестве 25 шт. Средняя глубина опробования составляла 0,5 и 1,1 м, считая от нижней отметки рекультивационного слоя. В лабораторных условиях были выполнены химический и гранулометрический анализы отобранных в траншее проб. Химическим анализом определены содержания меди, молибдена и ряда других металлов и химических элементов. Определение связи между крупностью частиц хвостов и содержанием в них основных металлов (меди и молибдена) выполнено с помощью аппарата корреляционного анализа для установления зависимости содержания металлов от класса крупности частиц лежалых хвостов. Результаты исследований показаны на рис. 4 и 5.

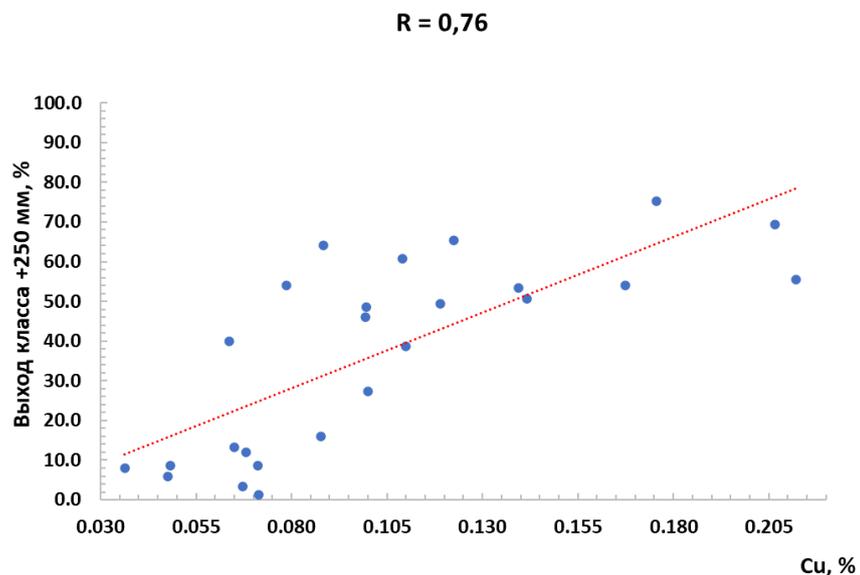


Рис. 4. Зависимость содержания меди от выхода класса крупности +250 мкм лежалых хвостов законсервированного хвостохранилища на р. Вохчи

По результатам химических анализов проб, взятых из траншеи, были также созданы карты распределения металлов с использованием геостатистического метода интерполяции, известного как обычный кригинг, который основан на модели случайных полей и позволяет оценить значения металлов и химических элементов, учитывая пространственную корреляцию данных. Результаты проведенных исследований обобщены на рис. 6–11.

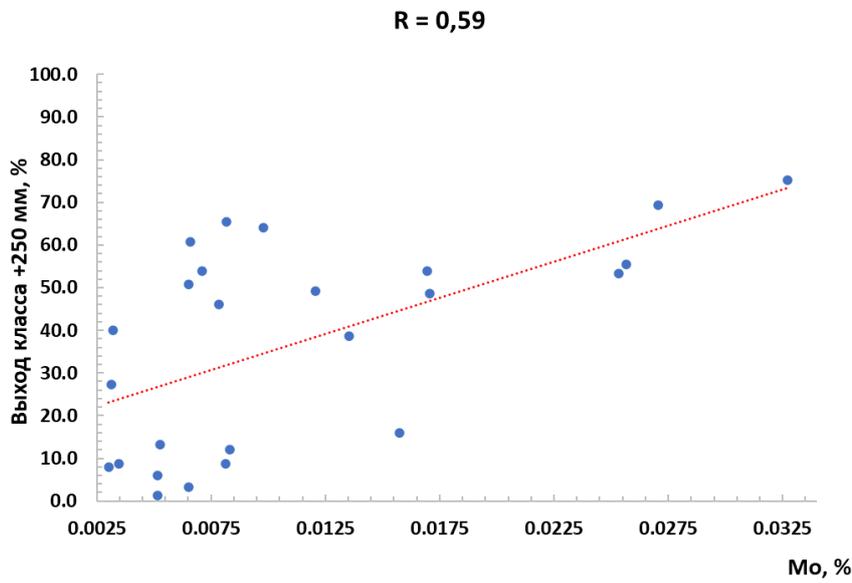


Рис. 5. Зависимость содержания молибдена от выхода класса крупности +250 мкм лежащих хвостов законсервированного хвостохранилища на р. Вохчи

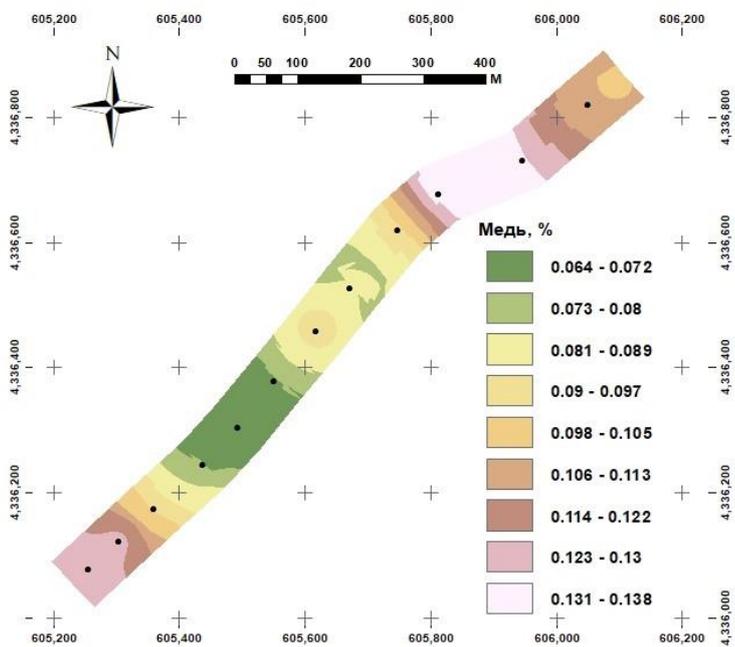


Рис. 6. Распределение меди на плане чаши законсервированного хвостохранилища в ущелье р. Вохчи

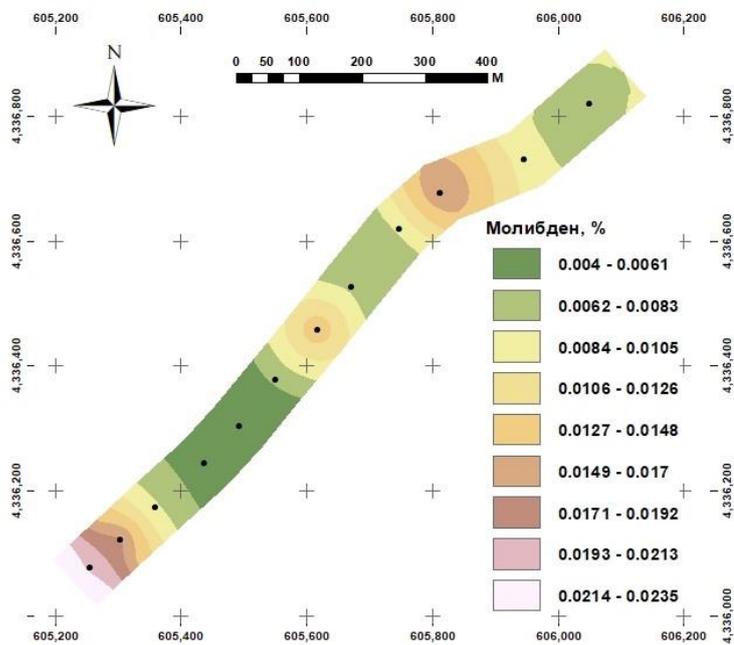


Рис. 7. Распределение молибдена на плане чаши законсервированного хвостохранилища в ущелье р. Вохчи

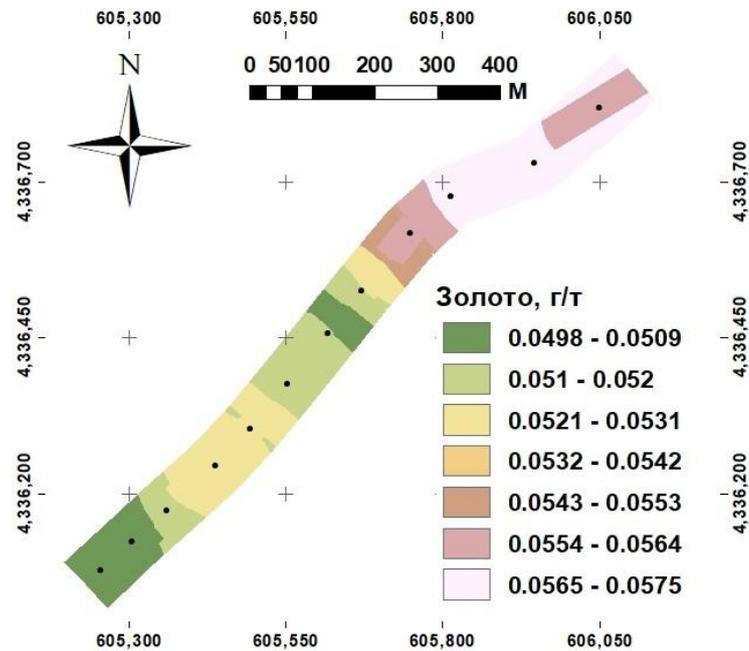


Рис. 8. Распределение золота на плане чаши законсервированного хвостохранилища в ущелье р. Вохчи

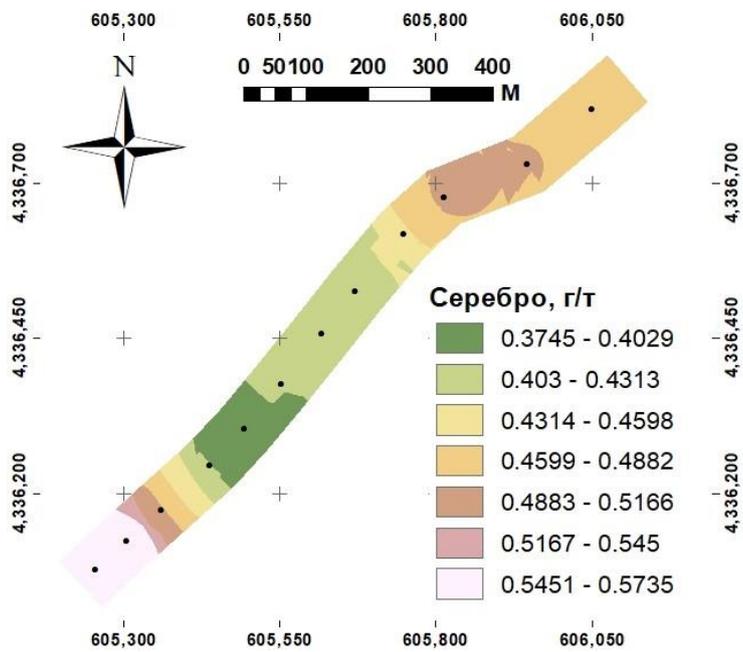


Рис. 9. Распределение серебра на плане чаши законсервированного хвостохранилища в ущелье р. Вохчи

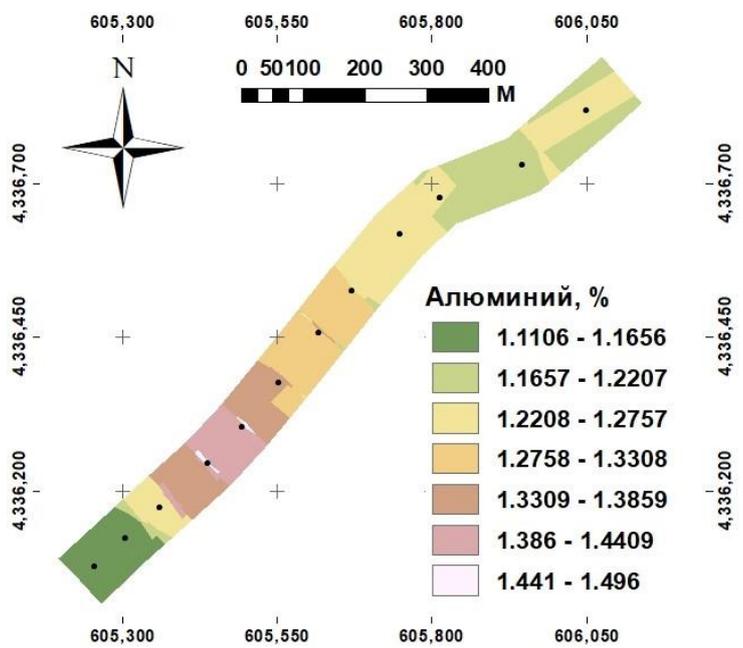


Рис. 10. Распределение алюминия на плане чаши законсервированного хвостохранилища в ущелье р. Вохчи

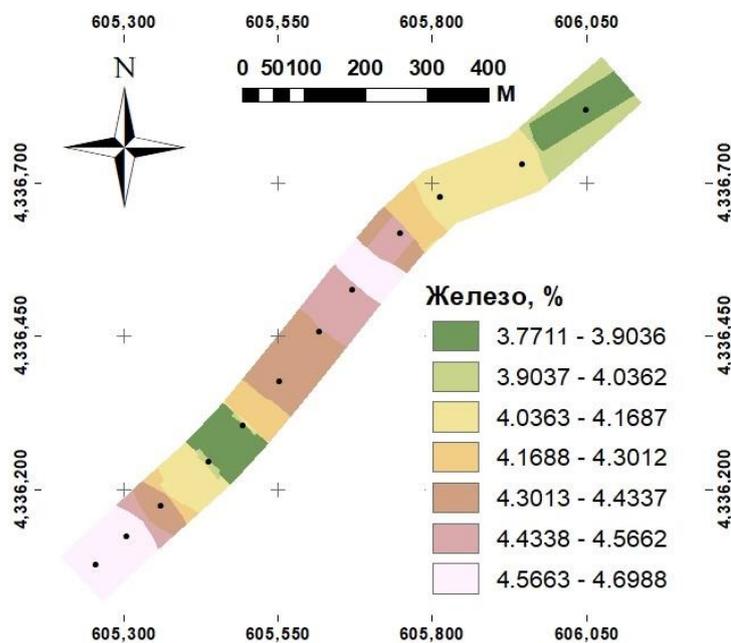


Рис. 11. Распределение железа на плане чаши законсервированного хвостохранилища в ущелье р. Вохчи

**Заключение.** Анализ мирового опыта исследований по установлению распределения полезных компонентов по классам крупности в лежалых хвостах показал, что общепринятое мнение о том, что высокие содержания полезных компонентов в основном сосредоточены в более зернистых фракциях, которые, в свою очередь, заскладированы в пляжных зонах хвостохранилищ, не всегда имеет место. Причиной этому могут служить как отсутствие каких-либо закономерностей и влияния геологических процессов, типичных для обычных месторождений, так и тип полезного компонента.

По результатам химических анализов на законсервированных хвостохранилищах ЗАО "Зангезурский ММК" определены средние содержания меди и молибдена в лежалых хвостах, которые составили 0,119% и 0,014% соответственно. Установлено, что металлы распределены по разным классам хвостов по крупности, при этом выявлены также классы крупности с разными содержаниями металлов.

Корреляционный анализ результатов исследований показал, что в условиях законсервированного хвостохранилища на р. Вохчи содержания меди и молибдена в лежалых хвостах прямо пропорциональны гранулометрическому составу лежалых хвостов. Коэффициент корреляции

содержания меди и молибдена в классе фракции +250 мкм составил соответственно 0,76 и 0,59.

Приведенные карты распределения меди и молибдена, а также ряда других металлов и химических элементов в лежалых хвостах можно использовать при разработке технологии извлечения указанных металлов и попутных ценных компонентов из лежалых хвостов.

Анализ построенных полигонов распределения металлов показал, что зоны повышенных содержаний меди и молибдена в ряде случаев совпадают с зонами повышенных содержаний остальных металлов.

Проведенными исследованиями установлено, что сырьевая база техногенных образований горного предприятия ЗАО "Зангезурский ММК" богата разными металлическими компонентами, повторное извлечение которых тесно связано с повышением точности и обоснованием закономерности их распределения в лежалых хвостах законсервированных хвостохранилищ.

#### Литература

1. **Пунишко О.А., Катыева С.В.** Способы опробования хвостов золотоизвлекательных фабрик и некоторые закономерности распределения золота в хвостохранилищах // Вестник ИрГТУ.- 2011.- №10 (57).- С. 157–160.
2. **Архипов А.В., Земцовская Е.В.** Принципы и возможные способы сохранения отходов обогащения, предназначенных для использования в качестве техногенного сырья //Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2012.- №2.- С. 197–204.
3. **Горлова О.Е., Шадрунова И.В., Жилина В.А., Чекушина Т.В.** Повышение полноты извлечения золота из лежалых отходов золотосодержащих руд //Известия ТулГУ. Науки о Земле.- 2020.- №1.- С. 193–210.
4. **Мейманова Ж.С., Кожонов А.К., Ногаева К.А., Молмакова М.С.** Исследование технологических свойств лежалых хвостов обогатительной фабрики "Солтон-Сары" //Технические науки – от теории к практике.- 2016.-№12(60).- С. 51-55.
5. **Chicos M.M., Stumbea D., Damian Gh., Buzgar N.** Mineralogy and geochemistry of the tailings pond from Straja Valley (Suceava Country, Romania). Factors affecting the mobility of the elements on the surface of the waste deposit // Carpatian Journal of Earth and Environmental Science.- 2016.-Vol. 11, No. 1.-P. 265-280.
6. **Уфатова З.Г., Севостьянова Е.А.** Исследование технологии вовлечения лежалых хвостов хвостохранилища №1 в металлургическом производстве //Научный вестник Арктики.- 2022.- №13.- С. 54-59.
7. **Алгебраистова Н.К., Алексеева Е.А.** Минералогия и технология обогащения лежалых хвостов Артемовской ЗИФ //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).- 2000.- Т. 6.- С. 191-198.

*Поступила в редакцию 16.07.2024.*

*Принята к опубликованию 04.06.2025.*

**«ՋԱՆԳԵՉՈՒՐԻ ՊՄԿ» ՓԲԸ-Ի ԿՈՆՍԵՐՎԱՑՎԱԾ ՊՈՉԱՄԲԱՐՆԵՐԻ ՊԱՌԿԱԾ  
ՊՈՉԵՐՈՒՄ ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՕԳՏԱԿԱՐ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ  
ՕՐԻՆԱԶՎՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

**Լ. Ա. Մանուկյան, Կ. Վ. Հարությունյան**

Տեխնաժին ծագում ունեցող հումքի վերամշակումը, ինչպիսիք են հարստացման պոչերը, կապված է մի շարք խնդիրների լուծման հետ, որոնք ի հայտ են գալիս պոչամբարների վերամշակման սկզբնական փուլերում: Այդպիսի խնդիրներից մեկը պոչամբարի մարմնում օգտակար մետաղական բաղադրիչների բաշխման օրինաչափությունների բացահայտումն է և դրանց կախվածության սահմանումը պառկած պոչերի տարբեր ֆիզիկամեխանիկական բնութագրերից:

Հոդվածում ուսումնասիրվել է օգտակար բաղադրիչների պարունակությունների փոփոխությունների՝ պառկած պոչերի հատիկաչափական կազմից կախվածության միջազգային փորձը, ինչպես նաև ներկայացվել են «Ջանգեզուրի ՊՄԿ» ՓԲԸ-ի կոնսերվացված պոչամբարներում կատարված ուսումնասիրությունների արդյունքները: Կատարված ուսումնասիրությունները ցույց են տվել օգտակար բաղադրիչների պարունակությունների և պառկած պոչերի հատիկաչափական կազմի միջև ուղիղ կորելյացիոն կապը: Մասնավորապես, օգտակար բաղադրիչների բարձր պարունակություն է նկատվել պոչամբարների լողափնյա հատվածներում տեղակայված խոշորահատիկ պոչերում, մինչդեռ պոչամբարների անցումային և մերձափնյա գոտիներում գտնվող պոչերը ներկայացված են մանրահատիկ կավային կազմի նմուշներով, որոնց մեջ օգտակար բաղադրիչների պարունակությունը ավելի ցածր է, և դրանք դժվար են ենթարկվում վերամշակման:

«Ջանգեզուրի ՊՄԿ» ՓԲԸ-ի պառկած պոչերից վերցրված նմուշների քիմիական անալիզի արդյունքների համաձայն՝ նրանցում պղնձի և մոլիբդենի միջին պարունակությունները համապատասխանաբար կազմել են 0,119% և 0,014%: Կառուցվել են նաև տարբեր մետաղական բաղադրիչների և քիմիական տարրերի բաշխման դաշտերը, որոնք կարող են օգտագործվել կոնսերվացված պոչամբարներից վերջիններիս վերամշակման և արդյունահանման տեխնոլոգիաների հետազոտման և մշակման փուլերում:

Այսպիսով, ընդգծվում է << հանքարդյունաբերության ոլորտում պառկած պոչերի վերամշակման կարևորությունը ոչ միայն տնտեսական արդյունավետության բարձրացման, այլ նաև ոլորտի բնապահպանական բեռը նվազեցնելու տեսանկյունից: Արդյունաբերական թափոնների վերամշակումը կարող է նպաստել՝ լուծելու բնապահպանական կարևոր խնդիրներ, ինչպիսիք են կոնսերվացված պոչամբարների զբաղեցրած տարածքների ազատումը և շրջակա միջավայրի աղտոտման կանխումը: Պոչամբարներից օգտակար բաղադրիչների երկրորդային արդյունահանման տեխնոլոգիաների ներդրումը ոչ միայն կմեծացնի արժեքավոր մետաղների արտադրության ծավալները, այլև կնվազեցնի նոր հանքավայրերի բացման և շահագործման անհրաժեշտությունը: Այսպիսով, պառկած պոչերի վերամշակումը

հեռանկարային ոլորտ է, որը կնպաստի հանքարդյունաբերության ոլորտի կայուն զարգացմանն ու տարածաշրջանում բնապահպանական իրավիճակի բարելավմանը:

**Առանցքային բառեր.** պոչամբար, պառկած պոչեր, հատիկաչափական կազմ, պղինձ, մոլիբդեն, պարունակություն:

## REGULARITIES OF USEFUL METAL COMPONENT DISTRIBUTION IN STALE TAILINGS IN “ZCMC” CJSC ABANDONED TAILING DAMS

L.A. Manukyan, K.V. Harutyunyan

Re-processing of technogenic raw materials, such as enrichment tailings, is associated with solving a set of problems arising at the initial stages of tailing dams re-processing. One of such problems is to identify the regularities of distribution of useful metal components in the tailings layer and to establish the dependence of their content on various physical and mechanical characteristics of stale tailings.

The article presents the international experience, as well as the results of studies carried out recently at the abandoned tailings dams of “Zangezur Copper-Molybdenum Combine” CJSC to identify the dependencies of changes in the contents of useful components on the granulometric composition of stale tailings. The conducted study showed a direct correlation between the content of valuable components and the granulometric composition of stale tailings. Notably, high concentrations of beneficial components were found in the coarse-grained fractions located in beach zones, whereas the fine clay fractions from the transitional and pond areas of the tailing dams displayed lower content of valuable components and are less suitable for secondary processing.

According to the chemical analysis of samples taken from the stale tailings of “Zangezur Copper-Molybdenum Combine” CJSC the average copper and molybdenum contents are 0,119% and 0,014%, respectively. Additionally, distribution polygons of various metals and chemical elements have been built, which can be utilized in the research and development phases of technologies aimed at processing and extracting these components from the conserved tailing dams.

These findings underscore the importance of processing stale tailings not only to enhance the economic efficiency but also to reduce the environmental impact of the mining industry in Republic of Armenia. Processing industrial waste can address significant environmental challenges, such as freeing up land previously occupied by tailing dams and preventing environmental pollution. The implementation of technologies for secondary extraction of valuable components from tailings will not only boost the production volumes of precious metals but also lessen the need for developing new deposits. Therefore, the reprocessing of stale tailings represents a promising avenue for promoting the sustainable development of the mining sector and improving the ecological situation in the region.

**Keywords:** tailing dam, stale tailing, particle-size composition, copper, molybdenum, content.