

Код МРНТИ 52.45.19

\*И.Т. Сандыбекова, М.Б. Барменшинова

Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА РУД БОЗШАКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЛОТАЦИИ МЕДИ

**Аннотация.** Исследовано влияние минералогического состава и крупности измельчения руд Бозшакольского месторождения на эффективность флотации меди. Используются ежедневные данные рентгеноструктурного анализа, результаты ситового анализа и оценки раскрытия/ассоциаций *Си*-минералов, а также данные фабрики за 2022–2025 гг. Показано, что рост пирита в питании связан со снижением извлечения меди (Спирмен -0,47), тогда как альбит коррелирует положительно (+0,34). Установлено, что около 22% меди в питании основной флотации представлено плохо высвобожденным халькопиритом, а во фракции +125 мкм сосредоточено 13% всей меди. Моделирование подтверждает падение извлечений *Си* и *Аи* при росте P80; снижение P80 с 130 до 120 мкм может повысить извлечение *Си* на 1,95%. Предложена интеграция минералогии и P80 в управление с размерно-раздельным анализом (+38/-38 мкм).

**Ключевые слова:** производственная минералогия, рентгеноструктурный анализ, флотация меди, раскрытие халькопирита, влияние пирита, крупность измельчения, хвосты контрольной флотации, месторождение Бозшаколь.

### Бозшақол кен орны рудаларының минералогиялық құрамының мысты флотациялау тиімділігіне әсері

**Андатпа.** Мақалада Бозшақол кен орны кендерінің минералогиялық құрамы мен ұнтақтау ірілігінің (P80) мыс флотациясының тиімділігіне әсері қарастырылды. Зерттеуде өндірістік минералогия деректері (күнделікті сандық рентгеноструктуралық талдау, елеу нәтижелері, *Си*-минералдарының ашылуы мен ассоциацияларын бағалау) және фабриканың 2022–2025 жж. көрсеткіштері пайдаланылды. Пирит мөлшерінің өсуі мыс шығарылымын төмендететіні көрсетілді (Спирмен -0,47), ал альбиттің әсері оң (+0,34). Негізгі флотация корегіндегі мыстың шамамен 22%-ы нашар ашылған халькопирит түрінде болады, +125 мкм фракциясында мыстың 13%-ы шоғырланған. Модельдеу P80 үлкейген сайын *Си* және *Аи* шығарылымдарының төмендейтінін көрсетті; P80-ді 130-дан 120 мкм-ге азайту *Си* шығарылымын 1,95%-ға арттыруы мүмкін. +38/-38 мкм фракциялары бойынша талдау қолдану ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** өндірістік минералогия, сандық рентгеноструктуралық талдау, мыс флотациясы, халькопириттің ашылуы, пириттің әсері, ұнтақтау ірілігі, бақылау флотациясының қалдықтары, Бозшақол кен орны.

### Influence of the mineralogical composition of ores from the Bozshakol deposit on the efficiency of copper flotation

**Abstract.** This paper evaluates how ore mineralogy and grind size (P80) affect copper flotation performance at the Bozshakol concentrator. Daily quantitative XRD trends, size-by-assay results and liberation/association observations are combined with plant daily data (2022–2025). Pyrite in feed shows a negative relationship with *Cu* recovery (Spearman -0.47), while albite correlates positively (+0.34). About 22% of *Cu* in rougher feed occurs as poorly liberated chalcopyrite and 13% of total *Cu* is hosted in the +125  $\mu\text{m}$  fraction. Modeling indicates decreasing *Cu* and *Au* bulk recoveries with increasing P80; reducing P80 from 130 to 120  $\mu\text{m}$  may increase *Cu* bulk recovery by ~1.95%. Integration of mineralogy and P80 into daily process control via PI Vision and size-split QXRD (+38/-38  $\mu\text{m}$ ) is proposed.

**Key words:** operational mineralogy, quantitative X-ray diffraction, copper flotation, chalcopyrite liberation, pyrite, grind size, control flotation tailings, Bozshakol.

### Введение

Повышение извлечения меди на обогатительных фабриках медно-порфировых месторождений в значительной степени ограничено минералогическими факторами: формой нахождения меди, степенью раскрытия сульфидов, количеством пирита, содержанием тонких глинисто-слюдистых минералов и их влиянием на реологию пульпы и селективность флотации. Бозшакольское месторождение характеризуется вариабельностью литологических типов и минералогии, что требует перехода от разовых минералогических исследований к производственной минералогии как к ежедневному инструменту управления процессом.

Цель работы – определить ключевые минералогические ограничения флотации меди для руд Бозшакольского месторождения и количественно оценить влияние крупности измельчения (P80) на извлечения *Си*, *Аи* и *Мо* на основе производственных данных, а также сформировать практические рекомендации по интеграции минералогии и P80 в оперативное управление процессом.

### Материалы и методы

В работе использованы следующие источники данных и подходы:

1) Отчет по аудиту производственной минералогии с описанием текущих практик отбора и подготовки проб, ежедневного рентгеноструктурного анализа и рекомендаций по интеграции минералогии в PI Vision.

2) Результаты исследования ситового анализа и минералогии по классам крупности (суточные/сменные композиты), включая доли *Си*-минералов (*Си*CN, *Си*AS),

распределение меди по фракциям и оценку раскрытия/ассоциаций халькопирита.

3) Анализ влияния P80 на извлечения *Си* и *Аи* по суточным данным фабрики за 2022 г. – апрель 2025 гг.

4) Результаты лабораторных флотационных тестов (два композита, диапазон P80 120–180 мкм).

Для оценки связи минералогии и показателей процесса использованы непараметрические коэффициенты корреляции (Спирмен). Под термином QXRD понимается количественная рентгеноструктурная дифракция (quantitative X-ray diffraction).

### Результаты

По ежедневным данным рентгеноструктурного анализа композитных проб выполнен высокоуровневый анализ связи минералогии питания и показателей процесса. Установлено сильное отрицательное влияние пирита на извлечение меди: коэффициент корреляции Спирмена составляет -0,47. Положительная корреляция выявлена между извлечением меди и содержанием альбита в питании (+0,34). Данные зависимости могут использоваться как индикаторы изменения раскрытия и селективности при изменении минералогии питания.

Для повышения диагностической ценности ежедневной минералогии рекомендовано выполнять размерно-раздельный анализ: разделение каждой композитной пробы на две фракции (+38 и -38 мкм) с последующим QXRD. Такой подход позволяет отделить влияние грубых композитных частиц (недораскрытие) от влияния ультратонких фракций (глины, шламы) и целенаправленно управлять потерями меди.

**Таблица 1**  
*Диапазоны переработки МПСИ и извлечения меди (25–75% процентиль) и влияние геологии (эксплуатационные данные за 2023 год)*

**Кесте 1**  
*МПСИ бойынша оңдеу және мысты алу көрсеткіштерінің диапазондары (25–75% пайыздық үлес) және геологияның әсері (2023 жылғы пайдалану деректері)*

**Table 1**  
*Ranges of MPSI throughput and copper recovery (25th–75th percentile) and the impact of geology (operational data for 2023)*

Линия (фабрика)	Переработка МПСИ, т/ч (25–75%)	Извлечение <i>Cu</i> , % (25–75%)	Влияние геологии (переработка)	Влияние геологии (извлечение)
Сульфидная	3164–3540	82,0–84,4	Высокие серицит и калийные – ниже переработка; высокие хлориты – выше переработка	Высокая доля брекчии – ниже извлечение; высокая доля андезита – выше извлечение

### Минералогические ограничения флотации меди

Результаты ситового анализа и минералогии по классам крупности показали, что значимая доля меди теряется в грубых классах. Во фракции +125 мкм сосредоточено 13% всей меди в виде слабо высвобожденного халькопирита. Суммарно около 22% меди в питании основной флотации находится в виде плохо высвобожденного халькопирита, который не подходит для эффективной флотации.

Минералогические наблюдения указывают на характерные ассоциации: халькопирит в композитных частицах преимущественно связан с агрегатами «слюда + глина», а вторичные сульфиды меди часто ассоциированы с халькопиритом и «слюда + глина». В хвостах контрольной флотации закрытый, невысвобожденный халькопирит встречается главным образом совместно со «слюда + глина» и пиритом. Это подтверждает двойную природу потерь:

1. Недораскрытие в грубых классах;

2. Ухудшение флотиремости и селективности при высоких долях тонких глинисто-слудистых минералов.

По данным коллективной минералогии питания основной флотации порядка 50% массы питания составляют минералы группы «слюда + глина»; наибольшее их количество приходится на тонкие классы (в том числе < -11 мкм). Дополнительно в период исследования доля минералов *CuCN* и *CuAS* оценивалась на уровне 14–36% от общего количества меди в питании; при этом *CuCN* извлекался лучше, чем *CuAS*, а в более крупных классах (+125 мкм) извлечение ухудшалось.

Хвосты контрольной флотации формируют порядка 87,5% всех хвостов фабрики, что делает данный поток приоритетным для снижения потерь. По результатам минералогии хвостов контрольной флотации до 28% общего количества меди может теряться с данным продуктом, а 7–13% общей меди теряется в хвосты контрольной флотации в фракции +125 мкм. Отмечено, что до 20% меди, потенциально поддающейся флотации, теряется преимущественно за счет закрытого, невысвобожденного халькопирита.

### Влияние крупности измельчения (P80) на извлечения

Анализ суточных производственных данных (2022 г. – апрель 2025 г.) показал выраженную обратную зависимость извлечений *Cu* и *Au* от P80. Для молибдена

по производственным суточным данным устойчивой корреляции с P80 не выявлено, что согласуется с вариативностью минералогии *Mo* и чувствительностью к режиму перемешивания и депрессии. Результаты моделирования извлечений *Cu* и *Au* в диапазоне P80 120–180 мкм представлены в таблице 2.

**Таблица 2**

**Модель извлечений *Cu* и *Au* в зависимости от P80 (суточные данные фабрики 2022–2025 гг.)**

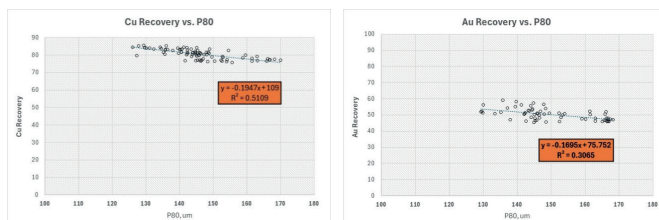
**Кесте 2**

**P80 мәніне байланысты *Cu* және *Au* алу модельдері (фабриканың тәуліктік деректері, 2022–2025 жж.)**

**Table 2**

**Model of *Cu* and *Au* recoveries as a function of P80 (daily plant data, 2022–2025)**

P80, мкм	Извлечение <i>Cu</i> , %	Извлечение <i>Au</i> , %
120	85,64	55,41
130	83,69	53,72
140	81,74	52,02
150	79,80	50,33
160	77,85	48,63
170	75,90	46,94
180	73,95	45,24



**Рис. 1. Зависимость извлечений *Cu* и *Au* от P80 (модель по суточным данным 2022–2025 гг.).**

**Сурет 1. P80 мәніне байланысты *Cu* және *Au* алу көрсеткіштерінің тәуелділігі (2022–2025 жж. тәуліктік деректер бойынша модель).**

**Figure 1. Dependence of *Cu* and *Au* recoveries on P80 (model based on daily data, 2022–2025).**

Лабораторные флотационные тесты (апрель 2025 г.) на двух композитах подтвердили общий тренд: снижение P80 приводит к росту извлечений **Си**, **Аи** и **Мо**, а увеличение P80 – к снижению. Для композита 2 более низкие извлечения **Си** объясняются повышенной долей вторичной медной руды.

Результаты флотационных испытаний для композита 1 приведены в таблице 4.

Результаты флотационных испытаний для композита 2 приведены в таблице 5.

Более низкие извлечения **Си** объясняются высокой долей вторичных медных минералов.

Изменение извлечений относительно базовой крупности P80 = 130 мкм приведено в таблице 6.

Таблица 3

**Композиты руды, использованные для флотационных испытаний**

Кесте 3

**Флотациялық сынақтар үшін пайдаланылған руда композиттері**

Table 3

**Ore composites used for flotation tests**

Композит	Си, %	Аи, g/t	Мо, %	Al2O3	SiO2	S/Cu	Fe/Cu	% Первичные сульфиды	% Вторичные сульфиды
№ 1	0.3	0.25	0.0125	13.81	42.61	8.68	25.68	86.92	7.58
№ 2	0.4	0.19	0.0125	14.87	49.92	9.85	19.70	46.87	26.76

Таблица 4

**Флотационные испытания: извлечения Си, Аи и Мо в цикле основной – контрольной и в коллективной флотации при различных значениях P80**

Кесте 4

**Флотациялық сынақтар: әртүрлі P80 мәндерінде негізгі – бақылау циклі және ұжымдық флотация кезінде Си, Аи және Мо алу көрсеткіштері**

Table 4

**Flotation tests: Cu, Au and Mo recoveries in the rougher – scavenger circuit and in bulk flotation at various P80 values**

P80	Извлечение основной-контрольной флотации			Извлечение коллективной флотации		
	Си	Аи	Мо	Си	Аи	Мо
120	85.85	65.40	66.01	84.13	56.90	57.43
130	84.86	63.33	64.29	83.16	55.09	55.93
140	83.57	61.64	62.02	81.90	53.63	53.96
150	82.53	59.02	61.09	80.88	51.34	53.15
160	82.17	56.16	60.45	80.53	48.86	52.59
170	80.20	54.70	57.90	78.60	47.59	50.37
180	78.55	52.85	55.88	76.98	45.98	48.62

Таблица 5

**Флотационные испытания: извлечения Си, Аи и Мо в цикле основной – контрольной и в коллективной флотации при различных значениях P80**

Кесте 5

**Флотациялық сынақтар: әртүрлі P80 мәндерінде негізгі – бақылау циклі және ұжымдық флотация кезінде Си, Аи және Мо алу көрсеткіштері**

Table 5

**Flotation tests: Cu, Au and Mo recoveries in the rougher – scavenger circuit and in bulk flotation at various P80 values**

P80	Извлечение основной-контрольной флотации			Извлечение коллективной флотации		
	Си	Аи	Мо	Си	Аи	Мо
120	71.10	76.41	74.43	70.04	64.95	63.27
130	70.31	75.25	73.33	69.25	63.96	62.33
140	69.52	74.09	72.23	68.47	62.97	61.40
150	68.72	72.92	71.13	67.69	61.99	60.46
160	67.93	71.76	70.03	66.91	61.00	59.53
170	67.13	70.60	68.93	66.13	60.01	58.59
180	66.34	69.44	67.83	65.34	59.02	57.66

Таблица 6

**Изменение извлечений относительно P80 = 130 мкм (лабораторные флотационные тесты, два композита)**

Кесте 6

**P80 = 130 мкм мәніне қатысты алу көрсеткіштерінің өзгеруі (зертханалық флотациялық сынақтар, екі композит)**

Table 6

**Change in recoveries relative to P80 = 130 μm (laboratory flotation tests, two composites)**

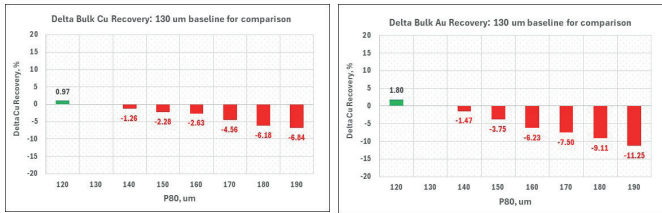
P80, мкм	ΔСи, комп.2	ΔАи, комп.2	ΔМо, комп.2	ΔСи, комп.1	ΔАи, комп.1	ΔМо, комп.1
120	0,78	0,99	0,93	0,97	1,80	1,50
130	—	—	—	—	—	—
140	-0,78	-0,99	-0,94	-1,26	-1,47	-1,98
150	-1,56	-1,98	-1,87	-2,28	-3,75	-2,78
160	-2,35	-2,97	-2,80	-2,63	-6,23	-3,34
170	-3,13	-3,95	-3,74	-4,56	-7,50	-5,56
180	-3,91	-4,94	-4,68	-6,18	-9,11	-7,31

### Обсуждение результатов

Полученные результаты подтверждают, что минералогический фактор для Бозшаколя проявляется через два ключевых механизма:

- недостаточное раскрытие сульфидов меди в грубых классах, прежде всего +125 мкм, где сосредоточена заметная доля меди;

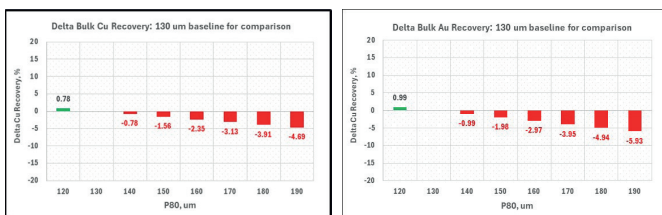
- влияние тонких глинисто-слюдистых минералов и пирита на селективность флотации и разбавление концентрата. Отрицательная связь пирита с извлечением меди (-0,47) может отражать сопутствующий унос пирита в концентрат и/или ухудшение селективности при изменении электрохимических условий, тогда как поло-



**Рис. 2. Изменение извлечения Cu при изменении P80 относительно 130 мкм (лабораторные тесты – композит 1).**

**Сурет 2. P80 мәні 130 мкм-ге қатысты өзгерген кезде Cu алу көрсеткішінің өзгеруі (зертханалық сынақтар, 1-композит).**

**Figure 2. Change in Cu recovery as P80 varies relative to 130 µm (laboratory tests, Composite 1).**



**Рис. 3. Изменение извлечения Cu при изменении P80 относительно 130 мкм (лабораторные тесты – композит 2).**

**Сурет 3. P80 мәні 130 мкм-ге қатысты өзгерген кезде Cu алу көрсеткішінің өзгеруі (зертханалық сынақтар, 2-композит).**

**Figure 3. Change in Cu recovery as P80 varies relative to 130 µm (laboratory tests, Composite 2).**

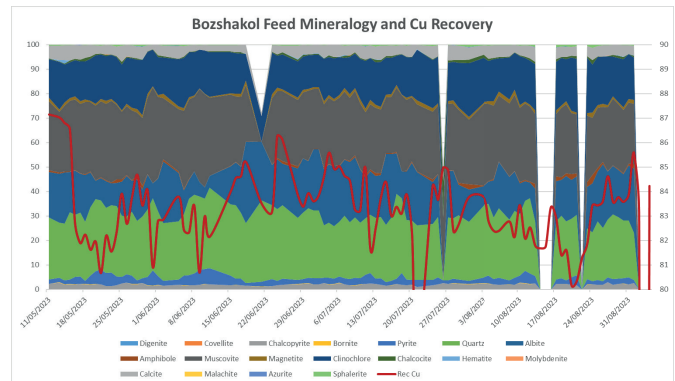
жизельная связь с альбитом (+0,34) вероятно связана с улучшением разрушения и раскрытия **Си**-минералов в присутствии более хрупких полевошпатов.

Практический вывод из зависимости «извлечение – P80» заключается в том, что управление крупностью должно выполняться не по фиксированной уставке, а с учетом минералогии питания. При росте доли композитных частиц халькопирита в грубых классах целесообразно целевое уменьшение P80, в первую очередь за счет стабилизации классификации и циркуляционной нагрузки в контуре доизмельчения. При росте доли «слюда + глина» и вторичных минералов меди повышается роль управления шламами (водный режим, распределение реагентов, оптимизация гидродинамики) и необходимость контроля уноса пирита.

Рекомендованный контур оперативной производственной минералогии включает:

- 1) ежедневный анализ крупности питания, концентрата и хвостов;
- 2) размерно-раздельный анализ (+38/-38 мкм) для локализации причин потерь;
- 3) визуализацию совместно с KPI в PI Vision (качество концентрата/хвостов, т/ч, извлечение) и формирование наборов «триггеров» для действий (перенастройка клас-

сификации, корректировка реагентного режима, фокус на контрольной флотации). Наличие цифровых инструментов (Smart Tag для отслеживания руды, Mill Slicer для контроля загрузки мельницы, VisioFroth для мониторинга пены, TRIT-AI и решения на базе Power BI) создает инфраструктуру для внедрения такого подхода.



**Рис. 4. Связь между ежедневными тенденциями минералогии и производительностью фабрики для выявления возможностей оптимизации процесса.**

**Сурет 4. Процесті оңтайландыру мүмкіндіктерін анықтау үшін минералогияның күнделікті үрдістері мен фабрика өнімділігінің арасындағы байланыс.**

**Figure 4. Relationship between daily mineralogy trends and plant performance to identify process optimization opportunities.**

#### Заклучение

1. По эксплуатационным данным 2023 года для сульфидной линии диапазон переработки МПСИ (25–75% процентиль) составляет 3164–3540 т/ч, а извлечение меди – 82,0–84,4%. Геология влияет на показатели: высокие доли серицита и хлорита связаны со снижением переработки, брекчия – со снижением извлечения, андезит – с повышением извлечения.

2. По ежедневным данным рентгеноструктурного анализа выявлены статистически значимые связи минералогии питания и извлечения **Си**: пирит (Спирмен -0,47) и альбит (+0,34).

3. Минералогические обследования показали, что около 22% меди в питании основной флотации представлено плохо высвобожденным халькопиритом, а во фракции +125 мкм сосредоточено 13% всей меди; хвосты контрольной флотации являются основным носителем потерь (до 28% общей меди).

4. Моделирование по суточным данным 2022–2025 гг. подтверждает падение извлечений **Си** и **Аи** при росте P80; снижение P80 с 130 до 120 мкм может обеспечить прирост извлечения **Си** порядка 1,95%. Лабораторные тесты подтверждают тренд для **Си**, **Аи** и **Мо**.

5. Для практического внедрения предложена интеграция минералогии и P80 в оперативное управление с использованием PI Vision и размерно-раздельного анализа (+38/-38 мкм) для диагностики и снижения потерь меди.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Джелдрес Р., Форбс Л., Цистернас Л. Влияние глинистых минералов на процесс флотации медных руд: критический обзор, 2019. С. 57–69 (на английском языке)
2. Пенная флотация руды халькопирит/пирит: критический обзор / Кастеллон С., Торо Н., Гальвез Е. [и др.]. 2022. С. 19 (на английском языке)
3. Янг М., Женг И. Влияние глинистых минералов на реологию пульпы и процесс флотации в сульфидных рудах меди и золота // Минералс инжиниринг. 2015. С. 8–13 (на английском языке)
4. О возможности флотации окисленной медной руды с предварительной сульфидизацией модифицированным сульфидизатором / Оскембеков И.М. [и др.] // Комплексное использование минерального сырья. 2017. № 1 (302). С. 18–24 (на русском языке)
5. Использование модифицированного реагента в обогащении окисленных медных руд / Бүркітсетерқызы Г. [и др.] // Труды университета. 2023. № 1 (90). С. 55–58 (на русском языке)
6. Инновационные методы переработки медных руд в Казахстане / Кенжалиев Б.К. [и др.] // Комплексный подход к повышению эффективности извлечения ценных компонентов. 2024. № 3. С. 124–136 (на русском языке)
7. Селективное повышение флотоактивности сульфидов цветных металлов / Игнаткина В.А. [и др.] // Обогащение руд. 2015. № 3. С. 18–24 (на русском языке)
8. Анализ причин ухудшения технологических показателей флотации медьсодержащей сульфидной руды при камерной отработке медно-колчеданных месторождений / Игнаткина В.А. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 9. С. 5–22 (на русском языке)
9. Влияние модификаторов класса сульфоксидов на селективность флотации сульфидных минералов цветных металлов / Бочаров В.А. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 12. С. 20–33 (на русском языке)
10. Александрова Т.Н., Прохорова Н.В. Модификация свойств породообразующих минералов при флотации медно-никелевых руд на примере месторождения Печенгского района // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 12. С. 123–138 (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Джелдрес Р., Форбс Л., Цистернас Л. Сазды минералдардың мыс кендерін флотациялау үдерісіне әсері: сыни шолу, 2019. Б. 57–69 (ағылшын тілінде)
2. Халькопирит/пирит кенінің көбікті флотациясы: сыни шолу / Кастеллон С., Торо Н., Гальвез Е. [және т. б.]. 2022. Б. 19 (ағылшын тілінде)
3. Янг М., Женг И. Сазды минералдардың пульпа реологиясына және мыс пен алтынның сульфидті кендеріндегі флотация үдерісіне әсері // Минералс инжиниринг. 2015. Б. 8–13 (ағылшын тілінде)
4. Модификацияланған сульфидизатормен алдын ала сульфидтендіру арқылы тотыққан мыс кенін флотациялау мүмкіндігі туралы / Оскембеков И.М. [және т. б.] // Минералдық шикізатты кешенді пайдалану. 2017. № 1 (302). Б. 18–24 (орыс тілінде)
5. Тотыққан мыс кендерін байытуда модификацияланған реагентті қолдану / Бүркітсетерқызы Г. [және т. б.] // Университет еңбектері. 2023. № 1 (90). Б. 55–58 (орыс тілінде)
6. Кенжалиев Б.К., Койжанова А.К., Чепуштанова Т.А., Мукангалиева А.О., Магомедов Д.Р. Қазақстандағы мыс кендерін қайта өңдеудің инновациялық әдістері / Кенжалиев Б.К. [және т. б.] // Бағалы компоненттерді алудың тиімділігін арттыруға арналған кешенді тәсіл. 2024. № 3. Б. 124–136 (орыс тілінде)
7. Түсті металдар сульфидтерінің флотоактивтілігін селективті түрде арттыру / Игнаткина В.А. [және т. б.] // Кендерді байыту. 2015. № 3. Б. 18–24 (орыс тілінде)
8. Мысқұрамды сульфидті кен флотациясының технологиялық көрсеткіштері камералық қазу кезінде нашарлауының себептерін талдау (мыс-колчеданды кен орындары) / Игнаткина В.А. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2021. № 9. Б. 5–22 (орыс тілінде)
9. Сульфоксидтер класы модификаторларының түсті металдар сульфидті минералдарының флотация селективтілігіне әсері / Бочаров В.А. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2022. № 12. Б. 20–33 (орыс тілінде)
10. Александрова Т.Н., Прохорова Н.В. Печенга ауданындағы кен орны мысалында мыс-никель кендерін флотациялау кезінде жыныс түзуші минералдардың қасиеттерін модификациялау // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2023. № 12. Б. 123–138 (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Jeldres R., Forbes L., Cisternas L. The Influence of Clay Minerals on the Flotation Process of Copper Ores: A Critical Review, 2019. 57–69 pp. (in English)

2. *Froth Flotation of Chalcopyrite/Pyrite Ore: A Critical Review / Castellon S., Toro N., Galvez E. [et al.]. 2022, 19 p. (in English)*
3. *Yang M., Zheng Y. The Influence of Clay Minerals on Pulp Rheology and the Flotation Process in Copper and Gold Sulfide Ores // Minerals Engineering. 2015. 8–13 pp. (in English)*
4. *O vozmozhnosti flotatsii okislennoi mednoi rudy s predvaritel'noi sul'fidizatsiei modifitsirovannym sul'fidizatorom [On the Possibility of Flotating Oxidized Copper Ore with Preliminary Sulfidization Using a Modified Sulfidizing Agent], Oskembekov I.M. [et al.], Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya [Complex Use of Mineral Raw Materials]. 2017. No. 1 (302). 18–24 pp. (in Russian)*
5. *Ispol'zovanie modifitsirovannogo reagenta v obogashchenii okislennykh mednykh rud [Use of a Modified Reagent in the Beneficiation of Oxidized Copper Ores], Burkitseterkyzy G. [et al.], Trudy universiteta [Proceedings of the University]. 2023. No. 1 (90). 55–58 pp. (in Russian)*
6. *Innovatsionnye metody pererabotki mednykh rud v Kazakhstane [Innovative Methods for Processing Copper Ores in Kazakhstan], Kenzhaliev B.K. [et al.], Kompleksnyi podkhod k povysheniyu effektivnosti izvlecheniya tsennykh komponentov [An Integrated Approach to Increasing the Efficiency of Valuable Component Recovery]. 2024. No. 3. 124–136 pp. (in Russian)*
7. *Selektivnoe povyshenie flotoaktivnosti sul'fidov tsvetnykh metallov [Selective Enhancement of the Flotation Activity of Non-Ferrous Metal Sulfides], Ignatkina V.A. [et al.], Obogashchenie rud [Ore Dressing]. 2015. No. 3. 18–24 pp. (in Russian)*
8. *Analiz prichin ukhudsheniya tekhnologicheskikh pokazatelei flotatsii med'soderzhashchei sul'fidnoi rudy pri kamernoi otrabotke medno-kolchedannykh mestorozhdenii [Analysis of the Causes of Deterioration in the Technological Performance of Flotation of Copper-Bearing Sulfide Ore During Chamber Mining of Copper-Pyrite Deposits], Ignatkina V.A. [et al.], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2021. No. 9. 5–22 pp. (in Russian)*
9. *Vliyanie modifikatorov klassa sul'foksidov na selektivnost' flotatsii sul'fidnykh mineralov tsvetnykh metallov [Effect of Sulfoxide-Class Modifiers on the Selectivity of Flotation of Non-Ferrous Metal Sulfide Minerals], Bocharov V.A. [et al.], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2022. No. 12. 20–33 pp. (in Russian)*
10. *Aleksandrova T.N., Prokhorova N.V. Modifikatsiya svoisty porodooobrazuyushchikh mineralov pri flotatsii medno-nikelevykh rud na primere mestorozhdeniya Pechengskogo raiona [Modification of the Properties of Rock-Forming Minerals During Flotation of Copper-Nickel Ores: A Case Study of a Deposit in the Pechenga District], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2023. No. 12. 123–138 pp. (in Russian)*

#### Сведения об авторах:

**Сандыбекова И.Т.**, магистрант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан); ведущий обогатитель KazMinerals, [sandybekova90@mail.ru](mailto:sandybekova90@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0006-2724-404X>

**Барменишинова М.Б.**, канд. техн. наук, ассоциированный профессор, зав. кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), [m.barmenshinova@satbayev.university](mailto:m.barmenshinova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Сандыбекова И.Т.**, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының магистранты, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан); KazMinerals компаниясының жетекші байытушысы

**Барменишинова М.Б.**, техн. ғыл. канд., қауымдастырылған профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Sandybekova I.T.**, Master's student, Department of Metallurgy and Mineral Processing, K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Almaty, Kazakhstan); Lead Mineral Processing Engineer, KazMinerals

**Barmenshinova M.B.**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Mineral Processing, K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Almaty, Kazakhstan)