



ТЕХНОГЕННОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЁ: ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ГЕОЛОГО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ

Рассматриваются вопросы изучения вещественного состава, технологических свойств в процессе геолого-технологического картирования техногенного минерального сырья и возможности его переработки. Проанализированы техногенные объекты редких металлов и составлена схема их размещения на территории России. Приведены результаты изучения трёх техногенных образований редких металлов – потенциальных источников редкометалльно-редкоземельной товарной продукции. Это лежалые хвосты обогащения руд Хинганского хвостохранилища, содержащие касситерит, Батагайского хвостохранилища рубидийсодержащих песков и хвосты золотоизвлекательной фабрики, содержащие серый монацит. По данным изучения вещественного состава, технологических свойств техногенных хвостов сделан вывод о том, что их переработка возможна по единой технологической схеме с получением товарных концентратов, если они относятся к одному технологическому типу. Для техногенных объектов, образованных при переработке руд различных технологических типов, где имеет место высокая пространственная изменчивость качества техногенных песков, требуется переработка по разным технологическим схемам.

Ключевые слова: техногенные хвосты, редкие металлы, вещественный состав, геолого-технологическое картирование, обогащение.

В настоящее время общепризнано, что техногенное минеральное сырьё – это конкурентоспособный, перспективный, постоянно пополняемый минеральный ресурс [12–18]. Повышенный интерес к техногенным месторождениям и образованиям обусловлен: сокращением числа и ухудшением качества руд разведываемых и эксплуатируемых месторождений по мере их отработки; концентрацией в техногенных образованиях весьма значительного количества минерального сырья с содержаниями и запасами, нередко сопоставимыми с природными месторождениями; исключением из геологоразведочного процесса при оценке техногенных образований поисковой и, в какой-то мере, оценочной стадий. Значительная часть техногенных отходов благоприятна для переработки, поскольку сырьё уже добыто и находится на земной поверхности, измельчено, полезные минералы в той или иной степени высвобождены из вмещающей горной массы.

В большинстве своём техногенные отходы горнодобывающей промышленности – комплексные, содержат полезные и попутные компоненты, которые могут извлекаться в товарную продукцию. Запасы хвостов могут пополняться, если источником их является действующее предприятие (горно-обогащительный комбинат (ГОК), металлургический завод, ТЭС). Кроме того, требования ох-

Левченко Елена Николаевна¹

доктор геолого-минералогических наук
заместитель генерального директора
lev_imgre@rambler.ru

Веремеева Людмила Ивановна¹

кандидат геолого-минералогических наук
заведующая сектором

Горлова Ольга Евгеньевна²

кандидат технических наук
доцент

¹ ФГБУ «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов», г. Москва

² ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск

раны окружающей среды стимулируют необходимость освоения и утилизации техногенных образований.

Вышесказанное в полной мере относится к отходам добычи и переработки руд редких металлов [3, 4, 11], имеющих свою специфику. Во многих случаях редкие металлы не извлекаются в полном объеме при получении основного полезного компонента и накапливаются в отходах [2, 6]. На долю горных отраслей промышленности приходится 70–80% объема всех техногенных образований на территории России.

Множественность показателей, характеризующих техногенные объекты, предопределяет сложность их классификации и типизации. К ним относятся условия образования, объемы, вещественный состав, характер процессов, в результате которых происходит преобразование первичного вещества, неоднородность влияния отдельных показателей на принятие технологических решений и экономических оценок и др. [1, 5, 9].

На основании анализа техногенных объектов редких металлов составлена схема их размещения на территории России (рис. 1). К потенциальным объектам, на которых выполнены или проводятся технологические исследования, оценены авторские запасы или ресурсы, отнесены хвосты обогащения: железных руд Гусевогорского и собственно Качканарского месторождений (Качканарский ГОК) – Sc, Ti, V; флюоритовых руд Вознесенского и Пограничного месторождений (Ярославский ГОК) – Be, Li, Rb, Cs, криолит; куларитов (редкие земли (TR), Au); редкометалльных гранитов Орловского и Этыкинского месторождений – Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Sc, Zr, Ga, Zn, Sn. А также золы каменных и бурых углей – TR, Sc, Y, Ta, Nb; отвалы ТЭС – V, Ni, Ge; породы вскрыши – Ti, Zr, Au; отходы от переработки вольфрамитовых концентратов (вольфрамовые кеки) – Ta, Nb, Sc и ильменитовых концентратов – V, Sc.

Выполнено ранжирование редкометалльных техногенных месторождений и техногенных образований по целесообразности их доизучения и вовлечения в промышленное освоение. Объекты первой очереди: апатитовые концентраты хибинских апатит-нефелиновых месторождений (TR, Sr, F); хвосты обогащения эвдиалитовых люавритов Ловозерского ГОКа (TR), бадделеит-apatит-магнетитовых руд Ковдорского ГОКа (apatит, бадделеит ZrO_2), флюоритовых руд Вознесенского и Погранич-

ного месторождений Ярославского ГОКа (Be, Li, Rb, Cs, криолит). Объекты второй очереди: отходы от переработки апатитовых концентратов хибинских месторождений (фосфогипс), содержащие редкоземельные металлы, гипс; отходы от переработки бокситов (красные шламы), содержащие Fe, Ti, Zr, Au, Sc, TR, Y; хвосты обогащения нефелин-полевошпатовых пегматитов Вишневогорского ГОКа, содержащие TR.

Главное значение при исследовании техногенного минерального сырья различного состава приобретает изучение его вещественного состава и технологических свойств. Неравномерное пространственное размещение потенциальных полезных компонентов в хвостохранилищах определяется качеством переработанного природного сырья, изменяющегося во времени по мере отработки месторождения. Технологические свойства техногенных отходов также зависят от условий их формирования (добыча и обогащение руд, переработка руд и получение концентратов), климатических факторов, продолжительности хранения. Материал техногенных образований нередко отличается от природного не только по гранулометрическому составу, но и содержанию ряда химических элементов и минеральных новообразований, возникших как в процессе обогащения минерального сырья, так и при хранении отходов [10].

При оценке технологических свойств техногенных отходов, содержащих редкие металлы, для выбора рациональной технологии их переработки использован алгоритм [7], в соответствии с которым на объектах исследовались вещественный состав отходов, а именно химический состав и гранулометрическая характеристика материала с распределением ценных, попутных и вредных компонентов по классам крупности, минеральный состав, физические и физико-механические свойства. Для определения целесообразности и эколого-экономической эффективности использования техногенного сырья применялся методический подход (рис. 2), последовательно включающий геолого-минералогическую, технологическую, экологическую и экономическую его оценку [8].

В сочетании с традиционным испытанием технологических проб геолого-технологическое картирование составляет основу современной технологической оценки запасов твердых полезных ископаемых. Оно осуществляется по данным (по массе продуктов) гравитационно-магнитного ана-

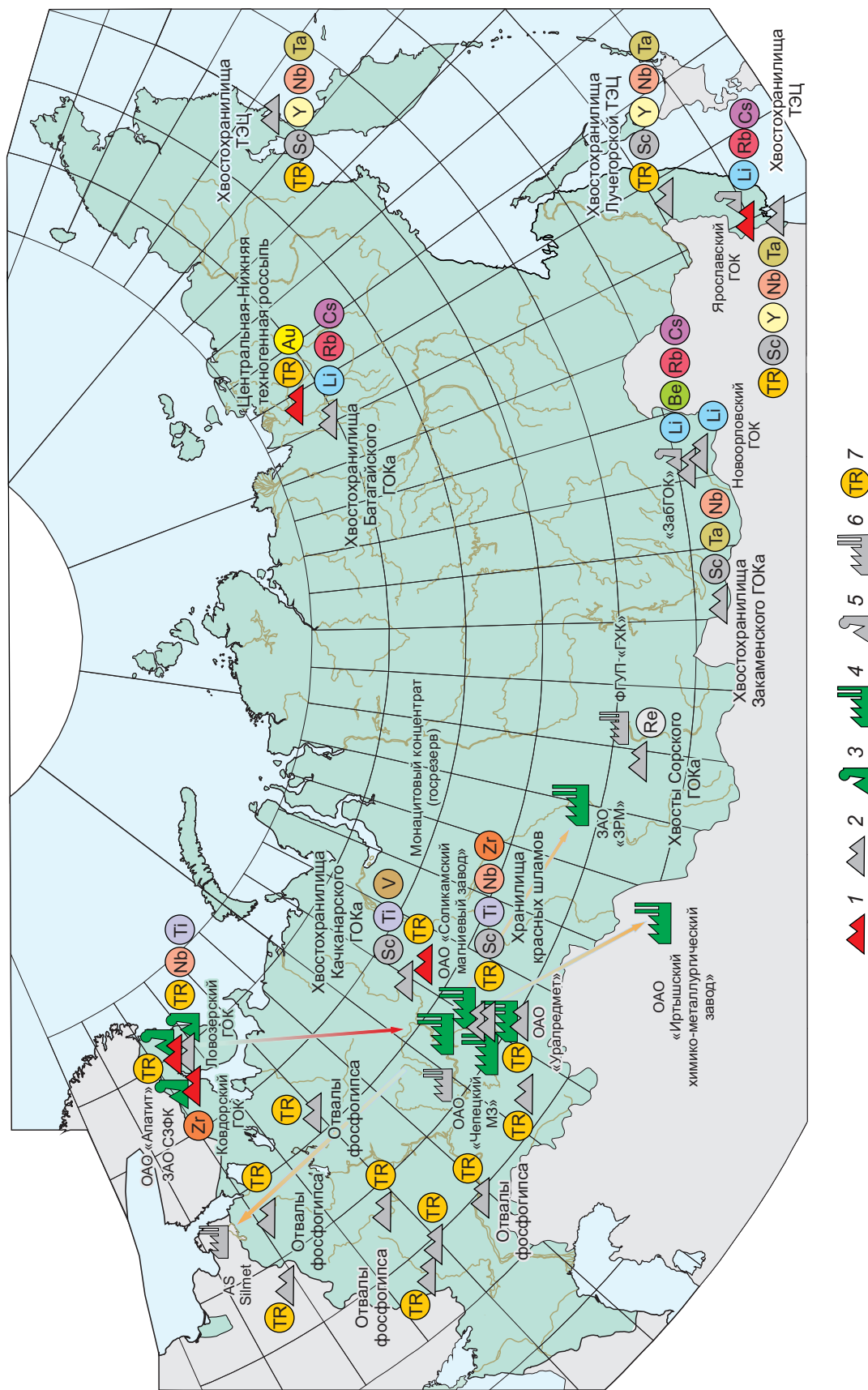


Рис. 1. РАЗМЕЩЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ РОССИИ, ИХ ДОБЫЧИ И ПРОИЗВОДСТВА:

1 – техногенные месторождения; 2 – техногенные объекты; действующие предприятия; 3 – добывающие; 4 – перерабатывающие; 5 – перерабатывающие; 6 – перерабатывающие; 7 – действующие предприятия; 7 – действующие предприятия

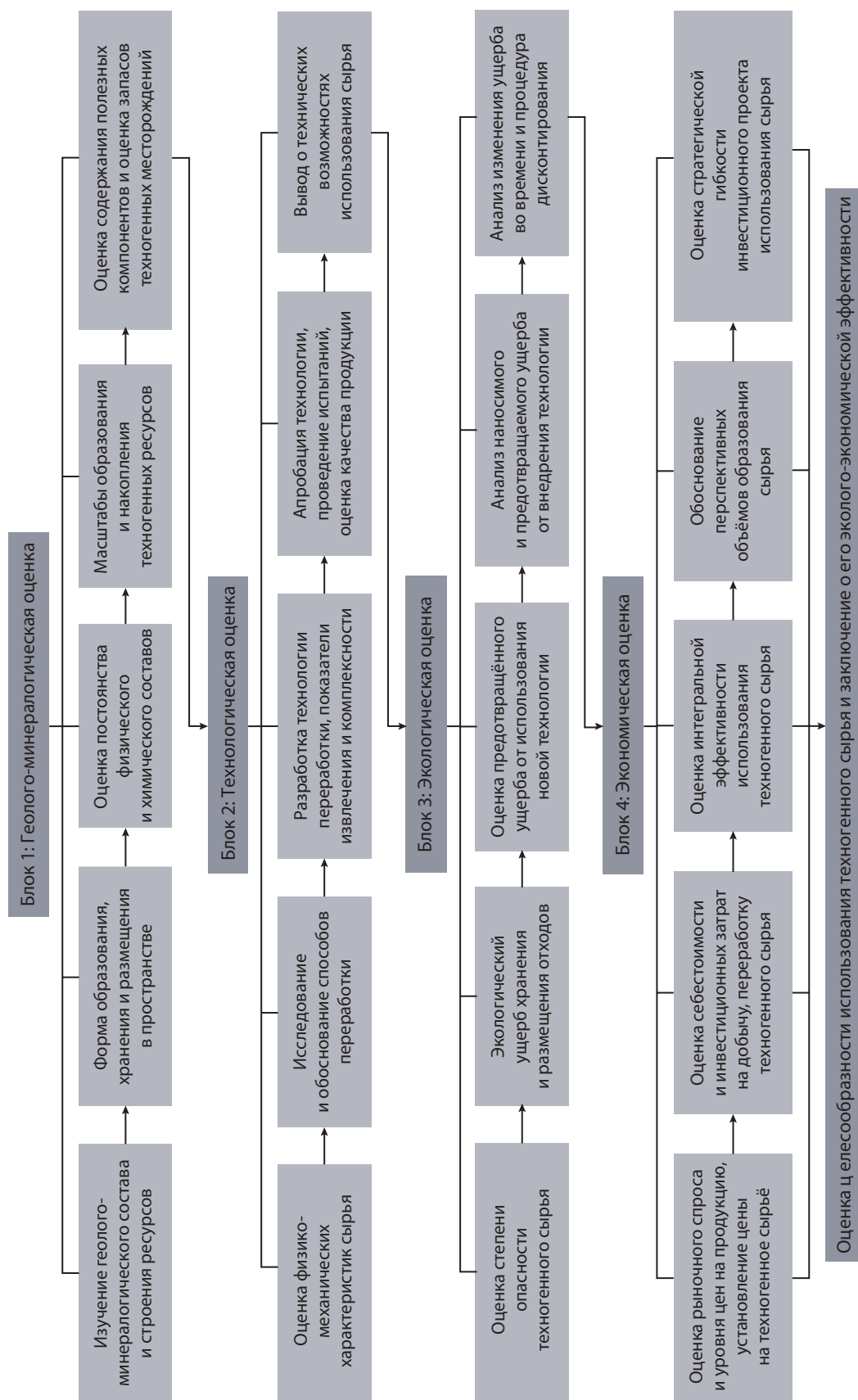


Рис. 2. БЛОК-СХЕМА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ [2]

лиза (фракционирования) исходных проб, результатам минералогического анализа исходных проб с определением содержания основных рудных минералов, результатам количественного минералогического анализа тяжёлой фракции, выделенной из исходных проб, прогнозным технологическим показателям, полученным по единой технологической схеме. В результате определяются изменчивость параметров вещественного состава, технологических показателей (содержаний минералов) и их взаимосвязь (коэффициенты вариации и парной корреляции), причём при характеристике неравномерности вещественного состава и технологических свойств коэффициент вариации не учитывает расположение проб в пространстве. Развёрнутая схема гравитационно-магнитного фракционирования проб песков является традиционной при изучении вещественного состава, поэтому данные минералогического анализа по основным рудным минералам характеризуют технологические свойства руд.

Ниже рассмотрены результаты изучения вещественного состава, технологических свойств и геолого-технологического картирования техногенных образований редких металлов, перспективных для получения дополнительной товарной продукции.

Техногенные пески Хинганского хвостохранилища, содержащие касситерит. Образовались в результате переработки руд одноимённого месторождения олова в период с 1945 по 2005 гг. Запасы хвостов составляют около 8 млн т, среднее содержание Sn 0,17–0,25%. Выполнено геолого-технологическое картирование хвостохранилища. Гранулометрический и минеральный составы 16 минералого-технологических проб (МТП), отобранных по 263 двухметровым интервалам, приведены на рис. 3.

Технологические свойства исследовались на материале укрупнённо-лабораторной технологической пробы (ЛТП). Определено распределение олова по шести стандартным классам крупности, включая класс -0,044 мм (табл. 1). Содержание Sn в хвостах составляет 0,141%. Основным продуктивным классом является материал крупностью менее -0,074 мм с общим распределением олова 79,11%. Преобладает материал крупностью -0,044 мм и распределением олова в нём 63,56%.

По данным минералогического анализа породы сложены силикатным и алюмосиликатным ма-

териалом, представленным кварцем, кварцево-слюдистыми агрегатами, глинисто-слюдистыми агломератами (табл. 2). Основной носитель олова касситерит присутствует в пробах в виде осколочных зёрен (рис. 4). Полное раскрытие касситерита начинается с класса -0,1 мм.

В пробе содержатся хлорит 5,523%, большая часть которого находится в тонком сростании с кварцево-слюдистыми агрегатами, флюорит 3,827%, сульфиды ~0,428 %, представленные сфалеритом, галенитом и халькопиритом, в меньшей степени окисленным пиритом и арсенопиритом. В качестве аксессуарных минералов (<<0,01 об. %) присут-

1. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИСХОДНОЙ ЛТП С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ОЛОВА ПО КЛАССАМ КРУПНОСТИ, %

Класс, мм	Выход	Содержание Sn	Распределение Sn
+1	1,05	0,066	0,48
-1...+0,5	4,90	0,067	2,25
-0,5...+0,25	12,65	0,044	3,85
-0,25...+0,1	28,85	0,054	10,80
-0,1...+0,074	5,17	0,099	3,51
-0,074...+0,044	8,50	0,266	15,55
-0,044...+0	38,87	0,238	63,56
Исходная проба	100,0	0,141	100,0

2. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ИСХОДНОЙ ЛТП, масс. %

Минералы	Содержание
Касситерит	0,336
Касситерит в сростках	0,004
Кварц	33,449
Полевые шпаты серицитизированные	7,395
Флюорит	3,827
Лимонит-гётитовые агрегаты	2,570
Сульфиды	0,428
Слюдисто-кварцевые сростки	39,636
Слюдистые агрегаты	1,989
Хлорит	5,523
Прочие	5,143

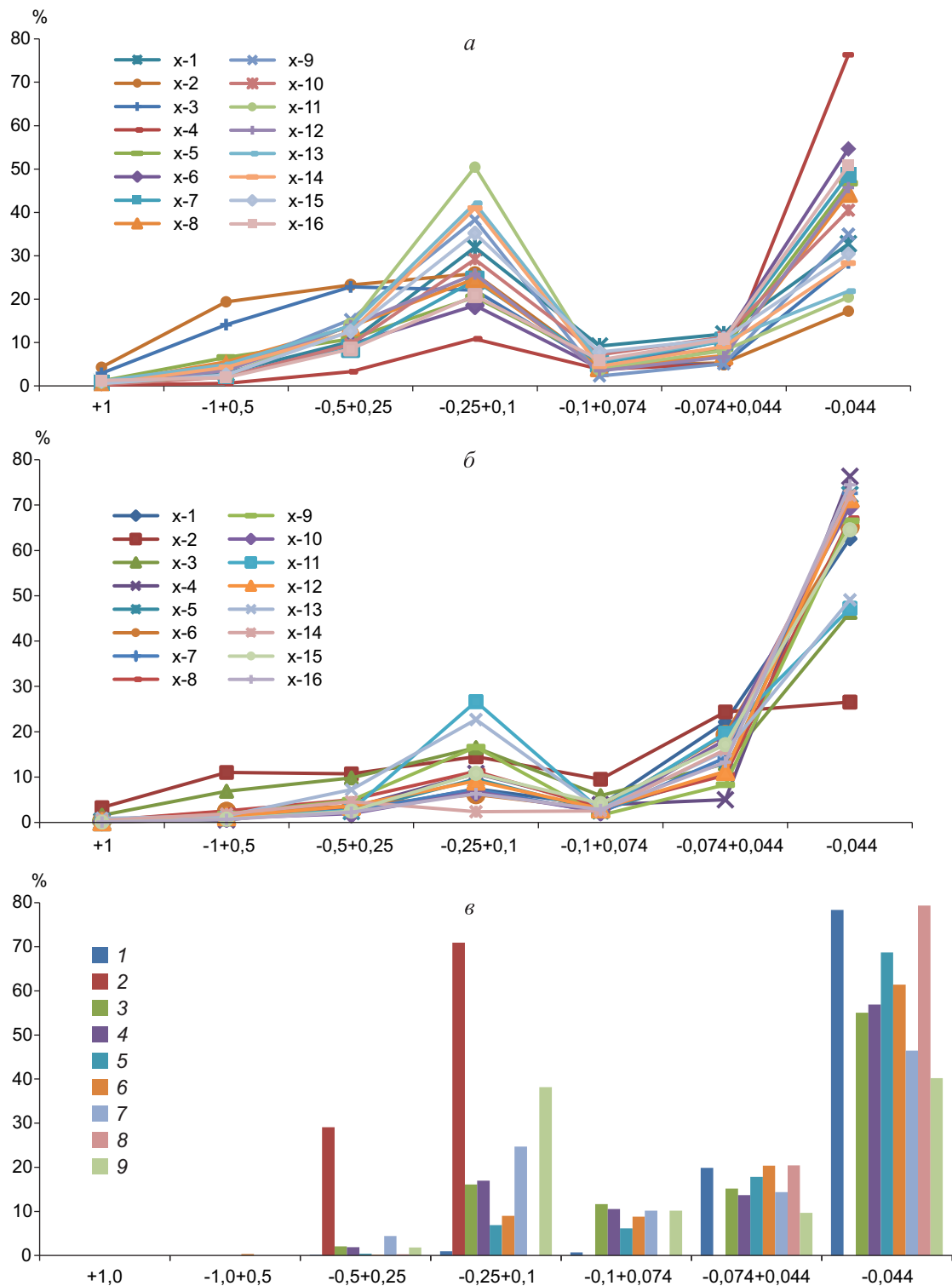


Рис. 3. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ИСХОДНЫХ МТП:

а – выход класса; *б* – распределение олова по классам крупности; *в* – распределение касситерита и породообразующих минералов по классам крупности: 1 – касситерит, 2 – касситерит в сростках, 3 – кварц, 4 – полевые шпаты серицитизированные, 5 – флюорит, 6 – лимонит-гётитовые агрегаты, 7 – слюдисто-кварцевые сростки, 8 – слюдистые агрегаты, 9 – кварцево-слюдистые агрегаты с хлоритом

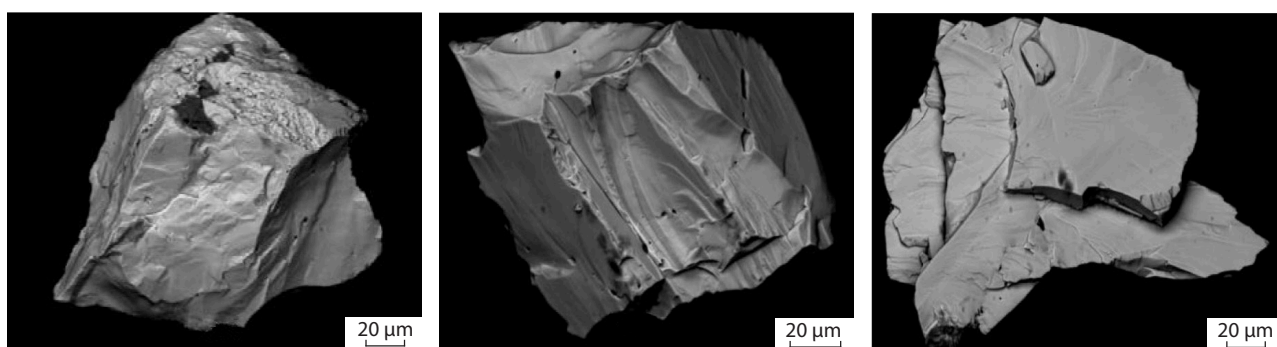


Рис. 4. Зёрна Касситерита в материале технологической пробы

ствуют апатит, циркон, рутил, топаз, турмалин, эпидот, бадделлит, амфиболы, биотит.

Разработана технологическая схема получения черного концентрата по гравитационной схеме обогащения, включающей двухстадийную концентрацию на центробежных концентраторах Falcon в замкнутом цикле и доводку черновых концентратов на концентрационных столах Gemini (табл. 3). По рекомендуемой технологической схеме извлечение олова в гравитационный концентрат составляет 65,23% при содержании его 52,73% и выходе 0,17%. В гравитационных концентратах отмечено значительное количество сульфидных минералов (арсенопирит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит) и флюорита. Выход отвальных хвостов составляет 99,83% при содержании 0,05% Sn. Потери олова с хвостами гравитации – 34,77%.

По содержанию основного компонента (ТУ 48-13-41-89) гравитационный концентрат соответствует марке КО-2, но в нём больше содержание лимитированных примесей (Pb, As, S, Cu, Zn, WO₃, F).

Для повышения качества оловянного концентрата применялся метод флотации с выделением сульфидного и флюоритового концентратов. Полученный камерный продукт флотации содержал 64,7% Sn при извлечении 92% и соответствовал марке КО-1.

Техногенные рубидийсодержащие пески Батагайского хвостохранилища (Республика Саха, Якутия). Сформировались из гравитационных и флотационных хвостов переработки руд Эге-Хайского месторождения и хвостов гравитационного обогащения руд Кестерского месторождения касситерит-кварцевой и касситерит-редкометалльно-кварцевой формаций соответственно. Необходимость оценки песков техногенной залежи хвос-

тоохранилища продиктована, с одной стороны, благоприятными экономическими факторами (близостью к коммуникациям, отсутствием вскрышных работ, относительно высокими содержаниями компонентов, в основном дорогостоящих (Sn, Li, Rb, Cs, Nb, Ta)), с другой – экологической составляющей, поскольку объект на протяжении 45 лет представляет существенную угрозу окружающей среде. Пески вмещают комплекс токсичных элементов, среди которых наиболее опасен таллий – второй после ртути по токсичности и первый по патологичности элемент. Установлено, что содержание Tl в них повышено до 4,68, Cd до 314, Li до 318, Be до 503 предельно допустимых концентраций. Поскольку все соединения таллия (I класс опасности) хорошо растворимы, предполагается, что часть его уже вынесена из песков хвостохранилища и поступила в воды р. Яна.

Эге-хайские хвосты вскрыты в основании центральной и южной частей хвостохранилища, кестерские занимают верхнюю часть. Вещественный состав и технологические свойства кестерских и

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ЛТП, %

Продукты	Выход	Содержание Sn	Распределение Sn
Sn гравитационный концентрат	0,17	52,73	65,23
Хвосты гравитации	99,83	0,05	34,77
Исходная проба	100,00	0,14	100,00

эге-хайских хвостов Батагайского хвостохранилища изучены на материале пяти МТП различных типов: 34 рядовых геологических проб, 11 лабораторных проб, отобранных из шурфов на всю мощность песков для компоновки укрупнённых ЛТП по выделенным сортам. Содержание полезных, попутных и токсичных компонентов, а также распределение полезных и попутных компонентов в МТП в кестерском слое на площади Батагайского хвостохранилища показаны на рис. 5.

Содержание полезных и токсичных компонентов в МТП неравномерное, и никакой зависимости между ними не прослеживается. В распределении олова в рядовых пробах кестерского слоя (см. рис. 5, в) выделяются две группы, в одной – оно распределяется в основном в классе $-0,044$ мм, в другой – в классе $+0,2$ мм. Распределение лития и рубидия в рядовых пробах не столь чёткое, как олова, однако большая их часть находится в классе $-0,2...+0,1$ мм, меньшая – в классе $-0,044$ мм. Рубидий и литий повторяют тенденцию распределения олова по классам крупности с той лишь разницей, что площадь распространения их несколько шире.

По результатам изучения вещественного состава и обогатимости проб установлено, что пространственная изменчивость качества техногенных песков Батагайского хвостохранилища определяется наличием отходов переработки руд трёх геолого-промышленных типов: кестерских тонкозернистых, кестерских мелкозернистых и эге-хайских.

Особенности вещественного состава, в том числе распределение основных полезных компонентов в песках по классам крупности, подтверждают наличие нескольких типов песков с различным вещественным составом. Эге-хайские пески отличаются максимальными концентрациями олова. В них практически отсутствуют попутные полезные компоненты, характерные для верхней части залежи. Кестерские пески отличаются повышенным выходом шламового класса и значительной пространственной изменчивостью этого параметра по площади. Шламовый класс характеризуется повышенной оловоносностью. Кестерские пески имеют кварц-полевошпат-слюдистый состав и максимальные концентрации Li, Rb, Nb, Ta. Содержание олова в них меньше, чем в подстилающих эге-хайских песках.

Технологические испытания кестерских и эге-хайских песков проведены отдельно. Материал

4. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ПРОБ

Класс, мм	Выход классов, %		
	УК-I	УК-II	УЭ-I
+0,5	13,14	0,67	18,15
-0,5...+0,2	38,79	3,81	24,19
-0,2...+0,1	41,13	34,90	34,78
-0,1...+0,05	4,54	34,35	11,72
-0,05	2,40	26,27	11,16

пробы кестерских тонкозернистых песков (УК-I) представлен в основном классами крупности $+0,5...-0,2...+0,1$ мм, кестерских мелкозернистых (УК-II) – классами $-0,2...-0,05$ мм, эге-хайских (УЭ-I) – классами $+0,5...-0,05$ мм (табл. 4).

Содержания полезных и попутных компонентов в классах крупности даны на рис. 6. Наиболее высокие содержания олова, тантала и ниобия отмечаются в классах крупности $<0,05$ мм, рубидия, лития и цезия в классе $-0,5...+0,2$ мм.

Технологические испытания пробы УК-I проведены по гравитационной и флотационной схемам обогащения. По гравитационной схеме получен концентрат с содержанием 16,20% Sn при его извлечении 22,64%. Содержание Ta и Nb в оловянном концентрате не превышало 0,2%. Флотационные показатели обогащения песков несколько ниже. В пенный продукт, содержащий 8,51% Sn, извлечение составило 9,13%. В результате технологических испытаний по обогащению песков пробы УК-II получен оловянный концентрат с содержанием 28,87% и извлечением олова 18,20%. Испытаниями по гравитационной схеме обогащения укрупнённой пробы эге-хайских хвостов УЭ-I получен оловянный концентрат с содержанием 16,59% и извлечением олова 26,51%.

Потери олова в основном приходятся на шламы и материал крупнее 0,1 мм. В то же время, учитывая результаты исследований, вовлекать в переработку материал крупнее 0,1 мм в целях повышения извлечения олова в оловянные концентраты представляется нецелесообразным из-за больших энергетических затрат, необходимых для доизмельчения хвостов.

Вопрос попутного извлечения тантала и ниобия, изоморфно связанных с касситеритом, реша-

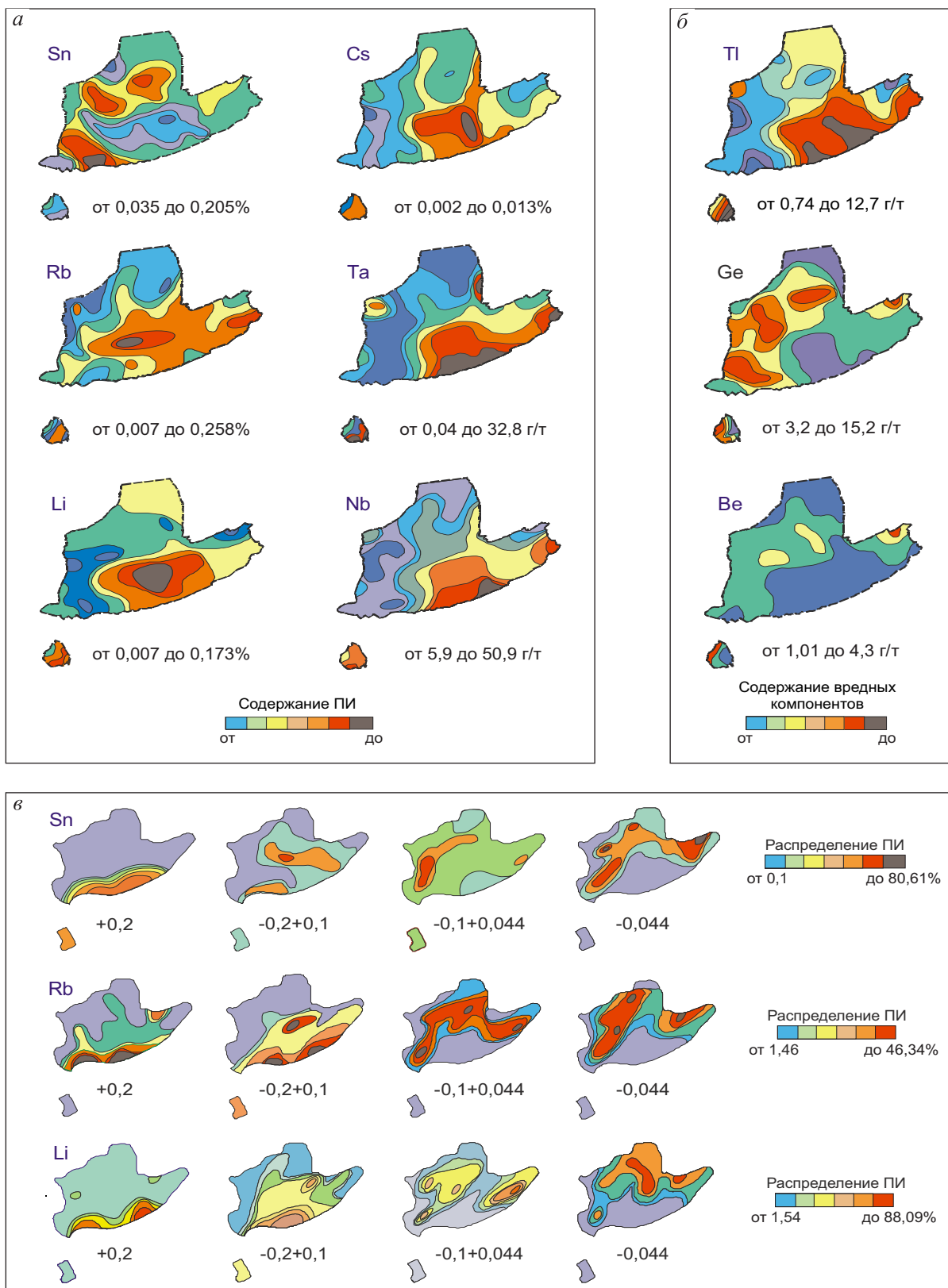


Рис. 5. СОДЕРЖАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ И ПОПУТНЫХ (а), ТОКСИЧНЫХ (б) КОМПОНЕНТОВ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ И ПОПУТНЫХ КОМПОНЕНТОВ (в) В МТП КЕСТЕРСКОГО СЛОЯ НА ПЛОЩАДИ БАТАГАЙСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

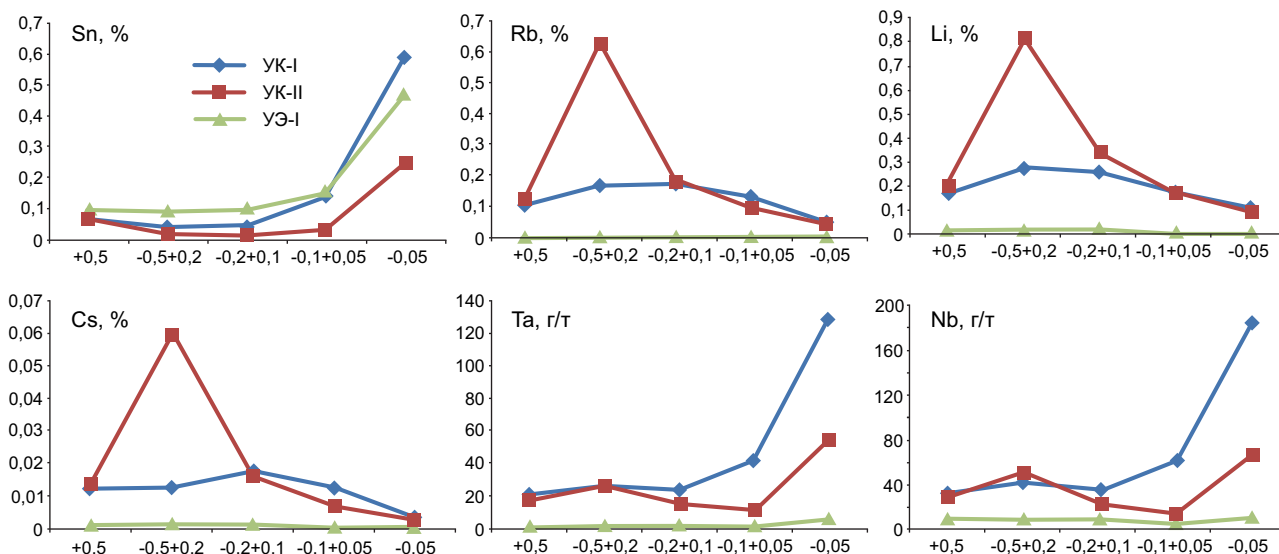


Рис. 6. СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЛЕЗНЫХ И ПОПУТНЫХ КОМПОНЕНТОВ В КЛАССАХ КРУПНОСТИ ПЕСКОВ

ется только на стадии переработки шлаков при выплавке олова из касситеритового концентрата, поэтому определить с достаточной точностью извлечение тантала и ниобия в концентрат на данной стадии геологоразведочных работ затруднительно.

Решение вопроса повышения извлечения олова, попутных тантала и ниобия при обогащении песков лежалых хвостов возможно при использовании химико-металлургических методов переработки труднообогатимых продуктов обогащения песков и (или) повышении эффективности флотации олова за счёт новых реагентов и энергетических воздействий.

Техногенные пески, содержащие серый монацит (куларит). Минералого-технологические исследования выполнены на эфельных отвалах золотоизвлекательной фабрики, содержащих серый монацит (куларит). Среднее содержание суммы оксидов редких земель (ΣTR_2O_3) в исходных песках составляет 0,585%. Наиболее значимыми элементами редких земель являются Ce, La, Nb, Sm. Рудный минерал, содержащий TR_2O_3 , представлен куларитом. Состав редких земель довольно постоянный, наиболее значимые элементы – Ce, La, Nd, Sm, основной значимый компонент – Eu.

Изучен вещественный состав 11 МТП. Содержание ΣTR_2O_3 в исходных пробах колеблется от 0,19 до 0,63% (рис. 7, а). Продуктивен класс -1,25...+0,044 мм (см. рис. 7, б). Установленные прогноз-

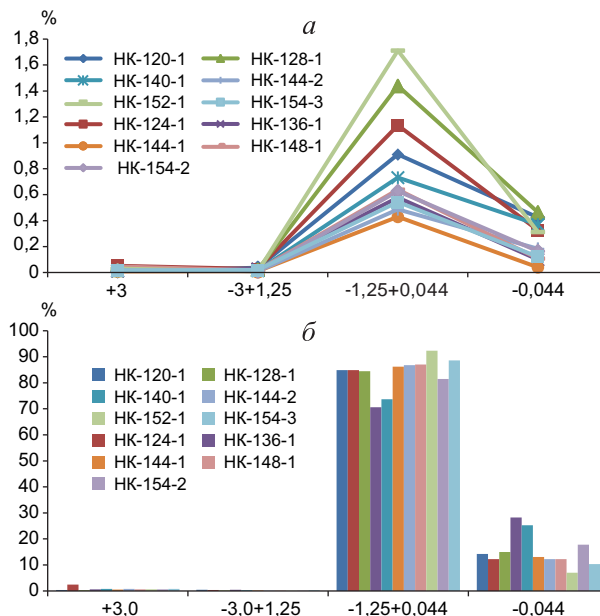


Рис. 7. СОДЕРЖАНИЕ (а) И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ (б) ΣTR В КЛАССАХ КРУПНОСТИ МТП

ные технологические показатели цикла первичного обогащения на стадии выделения класса -1,25...+0,044 мм выявили, что по взаимоотношениям между выходом продуктивного класса и содержанием в нём TR_2O_3 можно выделить две группы проб с чёткими зависимостями. В первой группе с повышением выхода продуктивного класса возрастает содержание ценных компонентов. Во вто-

рой, наоборот, при увеличении выхода продуктивного класса содержание ΣTR_2O_3 уменьшается.

Технологические показатели, полученные на стадии наработки серого шлиха (чернового гравитационного концентрата) из песков класса -1,25...+0,044 мм, свидетельствуют о существенном разбросе значений как содержаний ценных компонентов (от 4,7 до 24,59%), так и их извлечения (от 22,13 до 76,57%) при относительной стабильности выхода серого шлиха (в пределах $\pm 1,5-2\%$) (табл. 5). Последнее говорит о сходных гравитационных свойствах исследуемых песков класса -1,25...+0,044 мм.

Вещественный состав (гранулометрический, химический, минеральный) техногенных песков указывает на однотипность и схожесть получаемых технологических показателей. В связи с этим исследуемые пески можно отнести к одному технологическому типу и обогащать по единой гравитационной схеме с извлечением черновых куларитовых концентратов для последующей переработки и выделения индивидуальных оксидов редких земель.

В заключение отметим следующее.

Выполнено минералого-технологическое картирование трёх техногенных образований – хвостохранилищ переработки руд различных геолого-промышленных типов, содержащих редкие ме-

таллы. Изучен вещественный состав и технологические свойства хвостов. Определены методы и показатели обогащения техногенных хвостов.

Исследованы гравитационные и флотационные методы обогащения хвостов Хинганского хвостохранилища, образованного в результате переработки касситеритовых руд одноимённого месторождения. Наиболее эффективной технологией является гравитационное обогащение с получением оловянного концентрата, содержащего 52,73% Sn при извлечении 65,23% и соответствующего ТУ 48-13-41-89 (марка КО-1).

На основании изучения вещественного состава и технологических свойств техногенных рубидийсодержащих песков Батагайского хвостохранилища установлено, что хвосты переработки руд Эге-Хайского и Кестерского месторождений относятся к разным технологическим типам и не могут перерабатываться по единой технологической схеме.

Показана возможность переработки эфельных отвалов золотоизвлекательной фабрики, содержащих серый монацит по единой технологической схеме. При гравитационном обогащении минералого-технологических проб получен куларитовый концентрат с содержанием от 5,11 до 24,59% суммы редких земель и извлечением куларита от 22,13 до 76,57%, пригодный для последующей переработки и выделения индивидуальных оксидов редких земель.

Полученные данные на основе минералого-технологической оценки техногенного сырья использованы для геолого-технологического картирования площади хвостохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Т.Н., Николаева Н.В.* Эколого-геохимическая оценка техногенных отходов горно-металлургического комплекса России. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015.
2. *Быховский Л.З.* Реальные, потенциальные и перспективные источники редкоземельного сырья в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2014. № 4. С. 2–7.
3. *Быховский Л.З., Спорыхина Л.В.* Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 4. С. 15–20.

5. СВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА СТАДИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРОГО ШЛИХА ИЗ КЛАССА -1,25...+0,044 мм

Номера МТП	Выход от исходного, %	Содержание, %		Извлечение TR_2O_3 , %
		TR_2O_3	Куларит	
НК-120-1	0,69	23,61	44,54	27,93
НК-124-1	4,1	10,73	20,24	76,57
НК-128-1	1,53	16,58	31,29	51,67
НК-136-1	1,5	9,47	17,86	68,25
НК-140-1	1,51	24,91	47,00	74,49
НК-144-1	1,93	6,22	11,74	84,39
НК-144-2	3,27	4,7	8,88	45,27
НК-148-1	2,25	11,4	21,50	69,04
НК-152-1	0,94	22,78	42,99	22,13
НК-154-2	0,74	22,71	42,84	49,09
НК-154-3	0,35	24,59	46,39	26,7
Коэффициент вариации	66,74	48,63	48,63	40,59

4. Быховский Л.З., Спорыхина Л.В., Ануфриева С.И. Техногенные месторождения и образования редких металлов в России // Рациональное освоение недр. 2014. № 3. С. 14–22.
5. Грановская Н.В., Наставкин А.В., Мещанинов Ф.В. Техногенные месторождения полезных ископаемых. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2013.
6. Мелентьев Г.Б. Техногенный потенциал в ожидании промышленного освоения // Редкие земли. 2015. № 3. С. 132–144.
7. Методические рекомендации НСОМТИ № 112 «Оценка технологических свойств техногенных отходов, содержащих редкие металлы, для выбора рациональной технологии их переработки» / Е.Н.Левченко, Л.З.Быховский, С.И.Ануфриева и др. – М.: ВИМС, 2016.
8. Методические рекомендации НСОМТИ № 113 «Геолого-технологическое картирование и малообъемное технологическое опробование комплексных руд, содержащих редкие и редкоземельные металлы» / Л.А.Азарнова, А.В.Темнов, М.А.Козлова, и др. – М.: ВИМС, 2016.
9. Техногенные минеральные ресурсы / Под ред. Б.К.Михайлова. – М.: Научный мир. 2012.
10. Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е. Адаптация разделительных процессов обогащения полезных ископаемых к техногенному сырью: проблемы и решения // Обогащение руд. 2012. № 5. С. 43–50.
11. Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е., Орехова Н.Н. Формирование ресурсосберегающих технологий переработки вторичного металлсодержащего сырья на основе принципов адаптации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. Спец. вып. № 1. С. 347–360.
12. Adam Cheng Ying Ping, Waters Kristian E. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals // Minerals Engineering. 2013. Vol. 41. P. 97–114.
13. Castor S.B., Hedrick J.B. Rare Earth Elements. 2003. [Электронный ресурс] URL: http://www.fieldexploration.com/images/property/1_RareEarths_FLX_02.pdf.
14. Jamieson H.E., Walker S.R., Parsons M.B. Mineralogical characterization of mine waste // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 57. P. 85–105.
15. Lifton J. The global rare earth market. 2015. November 30. [Электронный ресурс] URL: <https://investorintel.com/sectors/technology-metals/technology-metals-intel/lifton-on-kingsnorth-and-the-global-rare-earth-market/>.
16. Merriman D. A Review of the Global Supply of Rare Earths / Roskill Consulting Group, 20th March. 2013. [Электронный ресурс] URL: http://www.rsc.org/images/David-Merriman_tcm18-230229.pdf.
17. Rare earth elements: a review of production, processing, recycling and associated environmental issues / With Permission of AlanM1/CC-BY-SA-3.0 Office of Research and Development EPA/600/R-12/572. December. 2012. Revised Rare Earth Elements.
18. Zinkov A.V., Tarasenko I.A., Bakhareva G.A., Afanasieva T.V. Specific features of technogenic mineralization of tailing dumps (Primorye, Dalnegorsk district) // Pacific Sci. Rev. Kangnam, 2003. Vol. 5. P. 16–22.

TECHNOGENIC MINERAL MATERIALS: COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL PROPERTY FEATURES, GEOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL MAPPING

E.N.Levchenko¹, L.I.Veremeeva¹, O.E.Gorlova² (¹ IMGRE, ² Nosov Magnitogorsk State Technical University)

Issues of mineral composition study, technological properties in geological and technological mapping of minerals and its potential processing are considered. Technogenic sites of rare metals are analyzed and their location scheme within Russia is compiled. Study results are given for three potential sources of rare metal/rare earth commodities. They are stale tailings of Khingan tailings pond containing cassiterite, Batagay tailings pond rich in Rb sands and gold plant tailings containing grey monazite. Based on study of mineral composition and technological properties of technogenic waste conclusion is made on its potential processing according to the unified flowsheet to produce salable concentrates if they belong to one technological type. Technogenic sites formed in processing ores of various technological types, where high spatial variability of technogenic sand quality takes place, require processing through different flowsheets.

Keywords: *technogenic tailings, rare metals, mineral composition, geological and technological mapping, treatment.*