



Т.В. Башлыкова
 ООО «НВП Центр-ЭСТАгео»
 директор
 gala@estageo.ru

Технологический потенциал увеличения извлекаемых запасов драгметаллов: организационно-технологические мероприятия на стадиях освоения природного и техногенного минерального сырья

Показан технологический потенциал увеличения извлекаемых запасов драгметаллов на стадиях изучения и освоения природного и техногенного минерального сырья. Дан анализ основных организационно-технологических мероприятий

Shows the technological potential to increase recoverable reserves of precious metals at the stages of exploration and development of natural and technogenic mineral raw materials. The analysis of the major organizational-technological measures

Ключевые слова: полнота извлечения полезных компонентов, организационно-технологические мероприятия, технологический потенциал

Keywords: completeness of extraction of useful components, organizational and technological measures, technological potential

ОТМ на стадии освоения недр

Основными организационно-технологическими мероприятиями, направленными на увеличение извлекаемых запасов драгметаллов на стадии освоения минерально-сырьевых объектов, могут быть следующие:

- достоверная технологическая оценка минерального сырья;
- технологическая экспертиза принимаемых решений при проектировании и модернизации горно-перерабатывающего предприятия (ОФ, ЗИФ, БК);

- модернизация промприборов, оснащение новой техникой;

- технологический аудит обогатительной фабрики, ЗИФ.

Вопросы повышения достоверности технологической оценки минерального сырья автор изложит в последующих публикациях.

Технологическая экспертиза – это оценка степени обоснованности принимаемых технологических решений, достижимости заявленных показателей, эффективности предлагаемой новации, соответствия особенностям

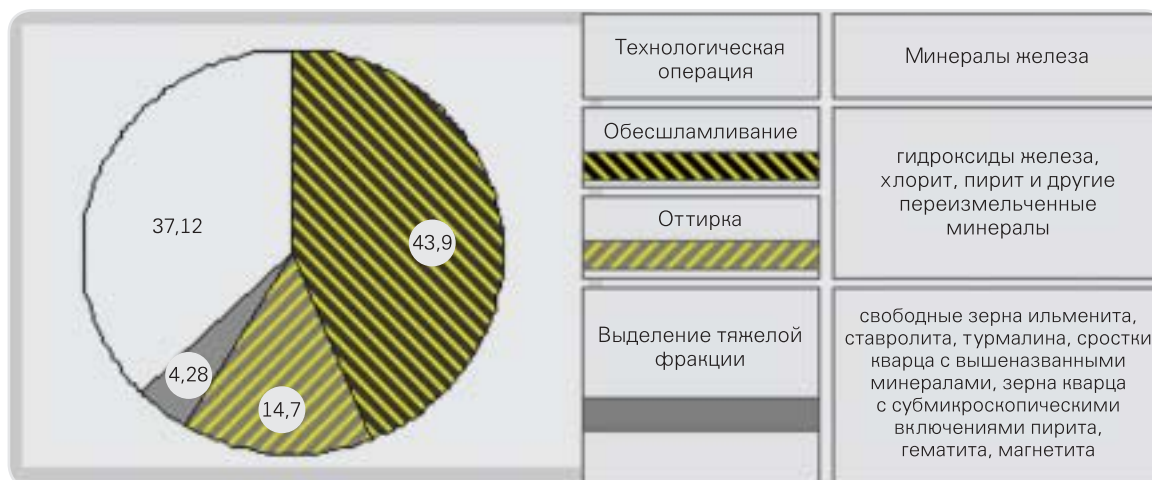


Рис. 1. Извлечение железа в технологические продукты при обогащении кварцевых песков

вещественного состава перерабатываемой руды и степени контрастности технологических свойств; соответствия рекомендуемого комплекса методов и аппаратов современному уровню развития науки, техники и технологии; готовности к промышленному внедрению с учетом освоенности промышленностью предлагаемого решения (метода, аппарата), устойчивости технологической схемы к внедрению предлагаемой новации.

Технологические решения могут касаться изменений в технологической схеме переработки минерального сырья, замены оборудования, внедрения новых методов.

Средством технологической экспертизы является новая методика (новый алгоритм) ее проведения, разработанный в Научно-внедренческом предприятии Центр экспертных систем технологического аудита (ООО «НВП Центр-ЭСТАгео»).

Предлагается в качестве методического обеспечения технологической экспертизы рекомендуемой новации выполнение оценки структурно-фазовых характеристик перерабатываемого сырья до и после внедрения инновационного решения.

Результатом технологической экспертизы может быть повышение извлечения ценных компонентов, оптимизация технологического процесса, снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Например, при оценке эффективности любого физического воздействия на степень раскрытия золота (другого ценного минерала) определяется гранулометрический состав руды до и после воздействия, распределение сростков золота с рудными и нерудными минералами по качеству до и после воздействия (для богатых, средних и бедных сростков при гравитации; доля открытых и закрытых сростков при флотации); доля, мощность и преры-

вистость гидроксидных пленок (покрытий) до и после воздействия.

В **табл. 1** показан пример представления результатов технологической экспертизы для обоснования выводов.

На другом примере можно проследить целесообразность внедрения на обогатительной фабрике IV стадии центробежного концентрирования золота. Объектом технологической экспертизы являются хвосты III стадии гравитационного обогащения с использованием концентраторов *Knelson*. Технологическая экспертиза выполняется по схеме: классификация хвостов гравитации на узкие классы крупности III стадии; оценка распределения золота и мышьяка по классам крупности, включая шламовые $-0,044+0,020$ и $-0,020$ мм; гравитационно-магнитное фракционирование, включая хорошо гравитируемый современными аппаратами класс $-0,044+0,020$ мм; визуализация золота и его сростков с оценкой распределения сростков по качеству; оценка распределения золота по фракциям различной плотности и магнитной восприимчивости; оценка неизбежных потерь золота с трудногравитируемым классом $-0,020$ мм; оценка раскрытия золота; обоснование выводов и рекомендаций. В нашем примере основные позиции последних – потери золота с хвостами III стадии гравитации обусловлены его переизмельчением, требуется оптимизация рудоподготовительного цикла (даются рекомендации), после которой IV стадия гравитации не потребуется.

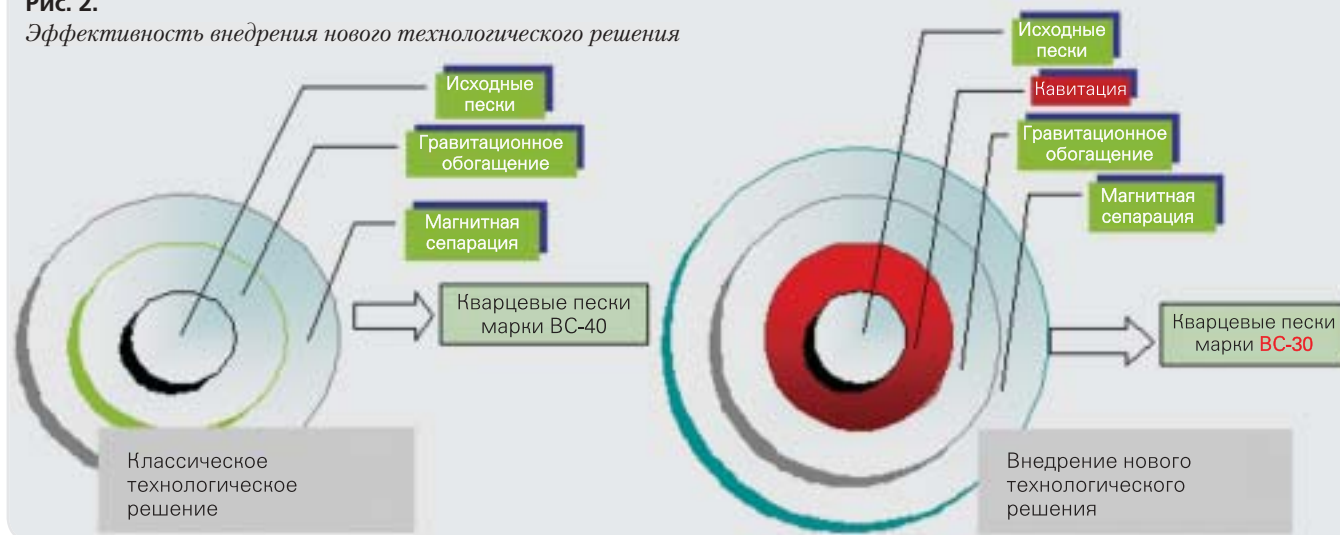
На **рис. 1, 2** дается иллюстрация к технологической экспертизе возможности получения концентрата более высокого качества (BC-030) при обогащении кварцевых стеколь-

Характеристика минеральных фаз по качеству в питании межцикловой флотации, %

Таблица 1

Минералы	Раскрытые зерна	Сростки			Сростки		Характер сростков				
		богатые	рядовые	бедные	с открытой поверхностью	внутренние	с пиритом	с халькопиритом	с халькозином и борнином	со сфалеритом	с породообразующими
Класс +0,074 мм											
Халькопирит	51.8	44.11	4.43	0.29	48.45	0.37	70		5	20	
Борнит	0	90.57	8.17	1.27	98.29	1.71		70		30	
Халькозин	0	89.77	9.16	1.06	97.45	2.55		30	30	40	
Сфалерит	29.45	68.98	1.30	0.27	70.02	0.52	70	10			20
Пирит	55.01	43.44	1.42	0.13	44.67	0.32		30		30	28
Породообразующие минералы	77.66	22.08	0.24	0.02	22.29	0.05	70	15		15	
Класс -0,074+0,044 мм											
Халькопирит	66.53	32.14	1.25	0.08	33.43	0.04	70		5	20	
Борнит	74.59	22.23	3.03	0.15	25.05	0.36		70		30	
Халькозин	75.04	23.09	1.59	0.29	24.14	0.82		30	30	40	
Сфалерит	68.40	31.01	0.50	0.02	31.6	0	70	10			20
Пирит	90.94	8.89	0.16	0	9.05	0.01		30		30	28
Породообразующие минералы	97.01	2.97	0.02	0	2.99	0	70	15		15	
Класс -0,044+0,020 мм											
Халькопирит	53.23	45.26	1.35	0.16	46.65	0.12	60			10	30
Борнит	60.84	38.14	0.91	0.10	39.15	0.01		30	20	20	
Халькозин	52.24	46.44	1.13	0.17	47.70	0.06			10	60	30
Сфалерит	48.87	50.63	0.40	0.03	51.06	0.07	60	30			10
Пирит	65.01	34.62	0.34	0.01	34.91	0.08		40		30	30
Породообразующие минералы	90.13	12.70	0.16	0.01	9.85	0.02	80	5		15	
Класс -0,02+0,01 мм											
Класс -0,01+0,005 мм											
Халькопирит	86.22	13.51	0.25	0.02	13.78	0	5		70	25	
Борнит	67.22	32.33	0.44	0.02	32.78	0		60	20	20	
Халькозин	66.29	33.08	0.60	0.02	33.71	0		60	20	20	
Сфалерит	71.90	27.76	0.32	0.02	28.10	0	15	70	15		
Пирит	83.20	16.62	0.17	0.01	16.80	0		60		20	20
Породообразующие минералы	90.98	8.95	0.07	0	9.02	0	60	20		20	

Рис. 2.
Эффективность внедрения нового технологического решения



ных песков за счет внедрения кавитационного воздействия в акустическом режиме.

На *рис. 3* показаны результаты технологической экспертизы целесообразности бакте-

риального выщелачивания гравитационного и флотационного концентратов с использованием кавитации. Необходимо еще раз подчеркнуть – цели и задачи технологической экс-

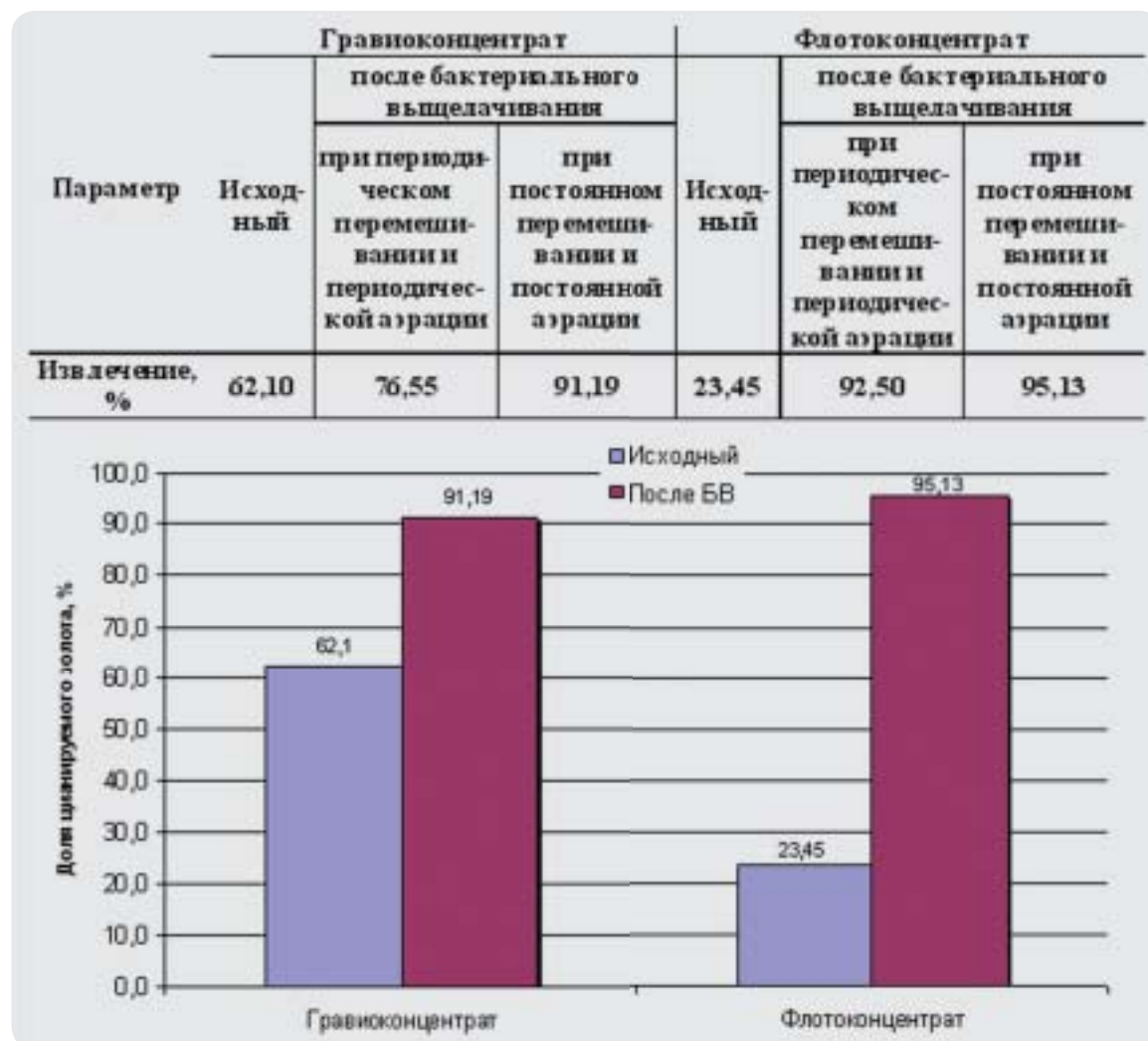


Рис. 3.
Результаты цианирования концентратов до и после бактериального выщелачивания с предварительной кавитацией



Рис. 4.
Алгоритм проведения технологического аудита
ОФ и ЗИФ

пертизы включают в себя не только оценку эффективности принятых технологических решений, режимных характеристик, компоновочных схем, работы аппаратов, узлов, переделов, но и выдачу обоснованных рекомендаций по повышению извлекаемой ценности перерабатываемого сырья природного или техногенного происхождения.

Таким образом, если технологическая оценка охватывает все три стадии развития минерально-сырьевого комплекса, то технологическая экспертиза – последние из них: освоение МСО и вторичную переработку техногенных образований.

Технологический аудит действующих ОФ, ЗИФ является одним из основных организационно-технологических мероприятий стадии освоения минерально-сырьевого объекта.

Задачами технологического аудита являются:

- повышение степени извлечения ценных компонентов;
- оптимизация технологического процесса;
- обоснование уровня неизбежных технологических потерь ценного компонента, обусловленных особенностями вещественного состава перерабатываемой руды;
- снижение эксплуатационных затрат.

Технологический аудит работает в системе трех вопросов: «Что есть?», «Что должно быть?», «Как достичь?» (рис. 4).

Основная цель технологического аудита – содействие деятельности недропользования. Масштабность технологического аудита может расширяться от малого к крупному и на-

оборот – от анализа отвальных продуктов (хвостов обогащения, кеков выщелачивания) до анализа эффективности узла, стадии, сепарации и, в конечном итоге, до анализа эффективности работы фабрики в целом.

Исходными данными для технологического аудита являются:

- геологическая справка о месторождении (генезис, параметры разведочных кондиций, контрастность руды в недрах, морфология рудных тел, тектоника, вмещающие породы и т.д.);
- технологический регламент;
- качественно-количественная схема с данными последнего опробования;
- основные показатели работы обогатительной фабрики за последний отчетный период;
- схема цепи аппаратов;
- водно-шламовая схема.

Объектами технологического аудита являются представительные пробы исходной руды в крупности мелкого дробления и технологических продуктов, представляющих собой «вход» и «выход» с каждого аппарата, отвальные продукты. Конечные концентраты не являются объектом технологического аудита из-за малой информативности.

Процедура технологического аудита имеет три цикла: информационный с систематизацией полученных данных об объекте; исследовательский, где изучается вещественный состав полученных проб, и испытательный, где проводятся испытания для подтверждения рекомендаций исследовательского цикла.

В итоговом отчете приводятся следующие разделы:

- минералого-технологические исследования исходной руды, особенности ее вещественного состава, контрастность технологических свойств, обоснование уровня неизбежных технологических потерь ценного компонента с учетом действующей технологической схемы;
- минералого-технологические исследования технологических продуктов с оценкой морфометрических параметров визуализированных ценных компонентов;
- сравнительная характеристика результатов изучения вещественного состава всех проб (гранулометрических характеристик, данных гравитационно-магнитного фракционирования с распределением ценных, попутных и вредных компонентов по фракциям различной крупности, плотности, магнитной восприимчивости);
- анализ продуктивных фракций продуктов, потерь со шламами, бедными сростками;
- анализ промпродуктов и рядовых сростков;

- анализ соответствия действующих на ОФ методов и аппаратов морфометрическим параметрам ценных минералов;

- оценка целесообразности использования интенсифицирующих воздействий;

- обоснование рекомендаций по повышению достоверности определения содержания золота при неравномерном или весьма неравномерном характере его распределения по крупности;

- результаты технологического тестирования рекомендуемых методов и аппаратов;

- анализ принятых на ОФ (ЗИФ) компновочных решений;

- рекомендации по оптимизации действующей технологической схемы (удаление аппаратов, не извлекающих золото данной крупности и морфологии; перенаправление продуктов, объединение продуктов, вывод продуктов в отдельный цикл и т.д.);

- инновационные технологические решения, направленные на повышение эффективности переработки руды (модернизация рудоподготовительного цикла, интенсификация сепарационных процессов, внедрение более эффективного оборудования, доизвлечение из хвостов ценных компонентов и т.д.).

В отчете с результатами технологического аудита приводятся масштабированные изображения ценных, попутных и вредных минералов руды со всеми возможными ситуациями их выделений и набором технологических решений в системе «ситуация – технологическое решение».

Средством технологического аудита является приведенная выше новая методика его проведения.

Результатом технологического аудита является повышение извлечения золота, оптимизация технологического процесса и снижение эксплуатационных затрат на действующем горно-перерабатывающем предприятии.

Мнение о трудностях внедрения в России зарубежных прогрессивных технологий высказывается нередко. Необходимо, однако, предложить, прежде всего, использовать ресурс соответствия применяемых технологических решений особенностям вещественного состава перерабатываемого сырья природного и техногенного происхождения, на сегодняшний момент этот ресурс – огромен.

В зарубежных исследовательских лабораториях царит «его величество» ТЕСТ. Постепенно он внедряется и в российские технологические коллективы. Существует множество тестов, и от их результатов зависит внедрение того или иного метода и аппарата. Например,

Тест *GRG*, направленный на оценку применимости центробежных концентраторов *Knelson*, заключается в трехстадиальном центробежном концентрировании руды на аппарате *Knelson* при последовательном доизмельчении хвостов предыдущей стадии гравитации. Крупности измельчения руды указаны в методике Теста.

Автору часто встречались в отчетах результаты этого теста с негативными выводами по отношению к аппарату, хотя аппарат здесь ни при чем! Характер выделения золота в каждой руде – индивидуальный и весьма конкретный. Модальные пики высоких содержания золота, соответствующие началу раскрытия, оптимальной и максимальной степени раскрытия, могут не совпадать с рекомендуемыми Тестом *GRG*. Получается, что тест наступил «на горло собственной песне», а *Knelson* может эффективно извлечь золото при других параметрах измельчения этой же руды.

При системном подходе к проблеме можно найти комплексное решение, отвечающее всем требованиям рационального недропользования

Некоторые российские исследователи разработали собственные «именные» тесты. Однако на поверку данные, определяемые этими доморощенными тестами, можно получить из обычного гранулометрического состава с распределением ценных, попутных и вредных компонентов по классам крупности и оценкой степени их контрастности. Такая задача – «Больше тестов – хороших и разных!» – не актуальна для нашего недропользования, основные требования которого на сегодняшний день – это рациональное и комплексное использование недр; экология и ресурсосбережение, повышение глубины переработки. О последнем требовании речь будет идти в последующих публикациях, а сейчас необходимо уточнить имеющиеся резервы повышения извлечения драгметаллов из техногенного сырья минерального состава.

ОТМ при вторичной переработке техногенного сырья

К организационно-технологическим мероприятиям этой стадии развития МСК прежде всего относятся имеющие комплексный характер достоверная технологическая оценка и технологическая экспертиза принимаемых решений.

Кроме того, существуют три основных организационно-технологических мероприятия:

- доизвлечение золота из отходов текущего производства (хвостов ОФ, ЗИФ и промприборов);
- доизвлечение золота из лежалых отвальных хвостов ОФ, ЗИФ и промприборов;
- доизвлечение золота из отходов металлургической, горнохимической и других отраслей промышленности.

Средствами могут служить запатентованная в России система гравитационного контроля, позволяющая в 1000–1200 раз сократить объем материала с концентрацией тяжелых минералов, а также доводочные установки, в том числе биогидрометаллургические с использованием активных ассоциаций микроорганизмов на основе собственного биоценоза.

Результатом реализации указанных организационно-технологических мероприятий станет не только увеличение извлекаемых запасов драгметаллов, но и цветных, черных, редких

металлов, а также возможность утилизации хвостов вторичной переработки в строительной индустрии. Таким образом, будут реализованы основные требования рационального недропользования.

Конечно, существует альтернатива предлагаемому способу глубокой переработки техногенного сырья, например, кучное выщелачивание. Но здесь решающее слово за экономикой: окомковывать тонкий материал, укладывать в штабель, ждать год-два, извлекать в лучшем случае 50–60% металла, обеззараживать штабель – либо сократить объем материала в 1000 раз и выщелачивать в чановом варианте тяжелую фракцию с извлечением 95–98% (при этом обеззараживанию будет подвергнута 0,1% объема материала).

Система гравитационного контроля (имеются российские патенты на способ и устройство, все разрешительные документы Ростехнадзора на использование) была испытана на текущих хвостах железорудного комбината летом

Результаты доводки тяжелой фракции стола по данным магнитно-гравитационного фракционирования

Таблица 2

Фракции	Выход от исх. пробы	Содержание золота, /т	Извлечение золота от исх. пробы, %	Извлечение от продуктивной фракции –1+0 мм
Тяжелая фракция – «головка» неэлектромагнитной фракции класса –0,25+0,1 мм концентрата стола	0,074	613	21,00	
Тяжелая фракция – «головка» неэлектромагнитной фракции класса –0,1+0,044 мм концентрата стола	0,159	153	11,26	
Суммарный концентрат	0,234	299,13	32,26	
Тяжелая фракция – «головка» электромагнитной фракции класса –0,25+0,1 мм концентрата стола	0,335	108	16,75	
Тяжелая фракция – «головка» электромагнитной фракции класса –0,1+0,044 мм концентрата стола	1,316	31,5	19,19	
Суммарный концентрат	1,651	47,02	35,94	
Суммарный концентрат из электромагнитной и неэлектромагнитной фракции	1,884	78,29	68,20	76,37
Суммарные магнитные, легкие, промежуточные фракции классов –0,25+0,1 и –0,1+0,044 мм; фракции класса –0,044+0 мм	0,956	35,86	15,87	
Исх. концентрат стола	2,84	64,11	84,07	94,17

Минеральный состав тяжелой фракции шлюза

Таблица 3

Минерал	Содержание
Кварц	25,80
Альбит	4,50
Калиевый полевой шпат	1,60
Амфиболы	17,80
Биотит	11,00
Гранаты, эпидот	5,30
Пироксены	4,50
Карбонаты	2,20
Апатит	0,50
Рутил	0,20
Пирротин	8,85
Пирит	3,00
Марказит	0,30
Халькопирит	0,05
Леллингит	0,10
Магнетит	5,30
Гематит	9,00
Самородное золото	знаки
Самородная платина	очень редкие знаки
Сумма	100,00

2010 г. (пропущено 300 т) и на лежалых хвостах Норильской ОФ летом 2011 г. (пропущено 800 т). В процессе испытаний на текущих хвостах достигнута степень сокращения объема материала – 1000, на лежалых – 1150. В качестве гравитационного аппарата использовался прямоточный шлюз специальной конструкции, исключающей заиливание аппарата.

Из пробы тяжелой фракции шлюза массой 3 кг извлечено 197 частиц самородного золота крупностью от 27 до 750 мкм и 11 частиц самородной платины крупностью 50–70 мкм. В *табл. 2* показаны результаты до-

водки тяжелой фракции шлюза, а в *табл. 3* – минеральный состав тяжелой фракции шлюза, указывающий на концентрацию минералов черных и цветных металлов.

При доводке тяжелой фракции шлюза после обогащения лежалых хвостов с содержанием суммы благородных металлов около 1,5 г/т получен гравикоцентрат, содержащий более 460 г/т платины, более 260 г/т палладия и 81 г/т золота.

Такая система гравитационного контроля (СГК) была испытана в начале этого столетия в Якутии, Магаданской и Амурской областях в сравнении со шлюзами глубокого наполнения. В случае, когда на ПГШ извлекали 1 кг золота в сутки, с использованием СГК доизвлекали еще 0,3 кг исключительно мелкого и тонкого золота за те же сутки [3].

Шлюз мелкого наполнения особой конструкции, составляющий основу СГК, может быть внедрен в процесс модернизации действующих промприборов, тогда это будет уже организационно-технологическое мероприятие II стадии развития минерально-сырьевого комплекса – стадии освоения недр.

Хотелось бы привлечь активное внимание недропользователей к показанному в статье на примере золота реально существующему потенциалу по увеличению извлекаемых запасов.

При системном подходе к проблеме можно найти комплексное решение, отвечающее всем требованиям рационального недропользования, но для этого необходима система нормативно-правового обеспечения реализации предложенных основных организационно-технологических мероприятий.

В последующих публикациях автор планирует более подробно, с конкретными примерами, изложить новую методику современной технологической оценки природного и техногенного минерального сырья с решением задач повышения глубины переработки и увеличения извлекаемых запасов твердых полезных ископаемых. ■

Литература

1. Литвиненко В.С. Возможности минерально-сырьевого потенциала // Приложение к Запискам Горного института. СПб., СПГИ. 2002. № 11. 12 с.
2. Технологические аспекты рационального недропользования: роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базы страны / Т.В. Башлыкова, Г.А. Пахомова, Б.С. Лагов, А.Б. Живаева, М.В. Дорошенко, А.Р. Макавецкас, Т.О. Шульга. Под ред. Ю.С. Карабасова. М., МИСиС. 2005. 576 с.
3. Кацман Ю.Е. Опыт использования обогатительных шлюзов КС-1 в старательских артелях Амурской области и Республики Саха (Якутия) // Золотодобывающая промышленность. 2006. № 4. С. 27–30.