

В.П. Мязин  
О.В. Литвинцева  
Н.И. Закиева

# ТЕХНОЛОГИЯ обогащения золото- содержащих песков



79  
Au

3 1  
0 18  
Л 32  
0 18  
Т 8  
0 2

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(ЧитГУ)

В.П. Мязин  
О.В. Литвинцева  
Н.И. Закиева

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ  
ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ**

Учебное пособие  
для студентов специальности  
130405 – Обогащение полезных ископаемых

Чита 2006

УДК 622.7 (075)  
ББК 33.4Я7  
М 99  
ISBN 5-9293-0091-7

Мязин, В.П. Технология обогащения золотосодержащих песков / В.П. Мязин, О.В. Литвинцева, Н.И. Закиева: учеб. пособие. – Чита: ЧитГУ, 2006. – 269 с.

В учебном пособии содержатся сведения по классификации и характеристике золотосодержащих россыпей. Рассмотрены традиционные гравитационные технологии и новые методы обогащения золотосодержащих песков с учетом достижений технологии переработки минерального сырья и природоохранных мероприятий.

Учебное пособие предназначено для использования в учебном процессе при подготовке квалифицированных специалистов и магистров по направлению «Горное дело» специальности «Обогащение полезных ископаемых». Оно может быть также использовано инженерно-техническими работниками предприятий

**Рецензенты:**

д-р техн. наук, проф. В.В. Кармазин  
(Московский государственный горный институт);  
д-р техн. наук, проф. М.В. Верхотуров  
(Красноярский государственный университет цветных металлов и золота)

**Под редакцией**

доктора технических наук, профессора, Заслуженного  
работника высшей школы РФ В.П. Мязина

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело»

© Читинский государственный университет, 2006  
© Мязин В.П., Литвинцева О.В., Закиева Н.И., 2006

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Россыпная золотодобыча по-прежнему занимает ведущую роль в минерально-сырьевом комплексе России. Перспективные возможности сырьевого потенциала коренных месторождений еще предстоит реализовать в XXI в.

Наращивание объемов россыпной золотодобычи в первую очередь определяется направленным использованием новых методов и дальнейшим совершенствованием существующих гравитационных процессов. Эффективность технологий обогащения золотосодержащих песков определяется в первую очередь достигнутым уровнем технического совершенства и необходимостью постоянного вовлечения в переработку наряду с легкопромывистыми песками труднообогатимого и техногенного сырья.

С этой целью требуется подготовка высококвалифицированных инженерных кадров, способных в условиях наблюдаемой тенденции снижения качества золотосодержащего сырья продолжать наращивать объемы россыпной золотодобычи за счет совершенствования технологий обогащения песков на основе изучения накопленного опыта и критического анализа используемых технических решений.

К настоящему времени в мировой практике золотодобычи накоплен новый материал, создана более совершенная техника и технология обогащения песков, в том числе с учетом требований ресурсосбережения и охраны окружающей среды.

Ранее выпущенные учебные пособия и учебники по технологии обогащения золотосодержащих песков значительно устарели. Пробел в издании специальной литературы в какой-то мере был устранен выпуском учебного пособия по технологии обогащения золотосодержащих руд и песков (Бочаров В.А., Игнаткина В.А., 2003). Однако в него не в полной мере вошли достижения мировой практики по современным технологиям, реализованным путем создания новых технологических решений и построения эффективных технологических схем. Не приведены сведения по методам контроля обогатительных процессов и природоохранным мероприятиям.

Назначение учебного пособия – дать студентам горных специальностей необходимые знания по геолого-технологическим особенностям золотосодержащих россыпей, методам и процессам обогащения металлоносных песков, конструктивным особенностям аппаратов и методологии построения технологических схем выделения продуктивной фракции из металлоносных песков с учетом особенностей их вещественного состава, методам контроля обогатительных процессов и природоохранным мероприятиям по защите поверхностных водотоков от загрязнения и рекультивации нарушенных земель.

Учебное пособие составлено применительно к учебной программе курса по технологии обогащения полезных ископаемых (золотосодержащих песков) для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 090300 – Обогащение полезных ископаемых, а также может быть использовано бакалаврами, магистрами, инженерно-техническими работниками, занимающимися обогащением золотосодержащих песков.

Авторы выражают особую признательность аспирантам КубГУ М.В.и Гончарову Д.С. за оказанную помощь в наборе текста и оформлении рисунков.

Учебное пособие в таком виде, как оно изложено авторами, представляется впервые. Все замечания и пожелания будут приняты с благодарностью.

## ВВЕДЕНИЕ

Россия располагает огромными запасами золота в недрах. По оценкам ведущих специалистов, по разведанным запасам она занимает второе место после ЮАР и может извлекать около 300 т драгоценного металла в год [13, 14].

По итогам золотодобычи в 2000 г. Россия занимает шестое место в мире после ЮАР, США, Австралии, Китая и Канады. Производство золота в нашей стране составило 143 т, в том числе: основная добыча – 131 т, попутная добыча – 7 т, производство отходов – 5 т [3].

Основные балансовые запасы золота России (73,6 %) сосредоточены в Восточно-Сибирском и Дальневосточном регионах. Около 80 % общего запаса золота содержится в рудных месторождениях, а 20 % – в россыпных. Однако в настоящее время до 60 % российского золота добывается из россыпей. Такая структура добычи сложилась исторически, поскольку условия залегания россыпей позволили раз-

рабатывать их с меньшими капитальными затратами и относительно простой технологией по сравнению с рудными месторождениями.

В последние годы ситуация по россыпной золотодобыче резко изменилась. В результате интенсивной эксплуатации легкодоступные богатые россыпи с крупным золотом в основном отработаны, и в эксплуатацию вводятся труднообогатимые и техногенные месторождения, в которых среднее содержание золота не превышает  $0,2...0,5$  г/м<sup>3</sup>. В отработываемых россыпях существенно изменился вещественный состав и характер золота, увеличился вес мелкого и связанного золота. Применяемые ныне технологии обогащения россыпей в большинстве случаев не соответствуют вещественному составу золота, что ведет к повышенным технологическим потерям ценных компонентов.

Основной задачей в области обогащения россыпей является совершенствование технологии за счет внедрения развитых комбинированных схем как с использованием традиционных гравитационных аппаратов (шлюзов, отсадочных машин, центробежных сепараторов), так и новых аппаратов для улавливания тонкого золота и вмещающих попутных компонентов, внедрение новых комбинированных и нетрадиционных технологий извлечения золота.

В учебном пособии авторами дана классификация и характеристика россыпных месторождений, рассмотрены основные методы обогащения россыпей, традиционные и новейшие технологии их обогащения, внедрение новых комбинированных и традиционных технологий извлечения золота.

Учебное пособие предназначено для использования в учебном процессе при многоуровневой подготовке специалистов по направлению «Горное дело», специальности «Обогащение полезных ископаемых».

# 1. ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

## 1.1. Образование и классификация россыпей

Россыпными месторождениями (россыпями) называются рыхлые или сцементированные отложения песчано-глинисто-галечных обломочных пород, содержащие полезные минералы в промышленных концентрациях. Россыпи являются вторичными месторождениями, так как они образуются в процессе физического выветривания коренных пород и химического воздействия на них различных факторов, в том числе гравитационных сил.

Из числа характерных условий образования россыпей в первую очередь следует выделить:

- крупность и форму зерен;
- природно-климатические особенности территории.

Формирование россыпных месторождений, происходящее в различные эпохи, обусловило разнообразие россыпей, различающихся генетическими, морфологическими и возрастными признаками [1].

По возрасту россыпи разделяются на три группы.

Россыпи четвертичные (новые) приурочены к современным речным долинам, морским и озерным прибрежным зонам.

Россыпи мезозойские и третичные (древние) располагаются в депрессиях или отмерших участках древней гидросети.

Россыпи допалеозойские и палеозойские (ископаемые) встречаются на плоских водоразделах, в депрессиях и в долинах под толщей четвертичных отложений.

По характеру образования россыпные месторождения разделяются на следующие типы: элювиальные, делювиальные, аллювиальные, прибрежно-морские, прибрежно-озерные, ледниковые и золотые [1, 12, 67].

Характеристика выделяемых генетических разновидностей россыпей приведена в табл. 1.1.



Генетические типы и характеристика россыпей

Генетические типы	Характерные особенности и условия образования
Элювиальные	Близость к материнским породам, местам разрушения коренных пород. Преобладание несортированного материала их обломков коренных пород
Делювиальные	Продолжение группы аллювиальных россыпей. Образуются при движении выветренного материала коренных пород под влиянием силы тяжести при смыве дождевыми и снеговыми водами
Аллювиальные (русловые и долинские)	Приурочены к руслам рек, речным долинам и догам и образованы в процессе переноса водой выветренного обломочного материала на значительное расстояние от своего первоисточника
Прибрежно-морские	Образуются в прибрежной полосе морей и крупных озер под действием волн прибоя, прилива и отлива, морских береговых течений в результате отложения выветренного материала, приносимого реками, или разрушения коренных пород на берегу озер или морей
Ледниковые	Образуются в горных районах путем переноса и накопления обломочного материала сползающими с гор ледниками
Золотые	Образуются в результате деятельности ветра при переносе мельчайших фракций полезного ископаемого

Пример для пользования этой классификацией применительно к россыпям месторождения Восточного Забайкалья приведен в табл. П.1.1.

Для всех генетических типов общим является наличие следующих элементов:

1) продуктивный пласт (пески), представляющий собой слой рыхлых отложений, в котором содержание полезного компонента является промышленным или близким к нему;

2) отложения, перекрывающие продуктивный пласт (торфа), не содержащие полезных компонентов или содержащие их в непромышленных концентрациях;

3) плотик -- поверхность коренных пород, подстилающих продуктивный пласт.

Породы, на которых залегают продуктивный пласт, могут быть разрушены, причем верхняя (разрушенная) часть их, содержащая золото, может быть отнесена к продуктивному пласту. В некоторых случаях продуктивный пласт залегают не на коренном плотике, а на глинистых породах, входящих в состав рыхлой толщи (ложный плотик). Строение плотика обуславливает распределение золота в россыпи. Мощность продуктивного пласта зависит от условий образования россыпи и составляет 0,4...3 м. Обычно наблюдается закономерное повышение содержания золота и его крупности в продуктивном пласте предплотиковой части.

Мощность торфов колеблется от долей метра до 20 м, достигая в погребенных россыпях 150 м.

Золотоносные россыпи различных регионов сложны и разнообразны как по условиям залегания, так и по строению слагающих их элементов (торфов, продуктивного пласта и плотины). На рис. 1.1 показан разрез долинной аллювиальной россыпи и распределение металла в ней.

Размеры россыпей в плане колеблются по ширине от нескольких метров до сотен метров, а по длине россыпи достигают иногда нескольких километров. Форма россыпей в плане разнообразна, но большинство имеют вытянутые струйчатые очертания.

На земной поверхности россыпи залегают в поймах, на склонах и возвышенностях у водоразделов, а также в озерах и морях.

Классификационные признаки для промышленной типизации россыпей обычно принимаются, исходя из [12, 82, 97, 99]:

- генетической принадлежности месторождения;
- морфологического типа и условия залегания россыпей;
- вещественного состава песков и их качества по содержанию золота и других извлекаемых ценных компонентов.

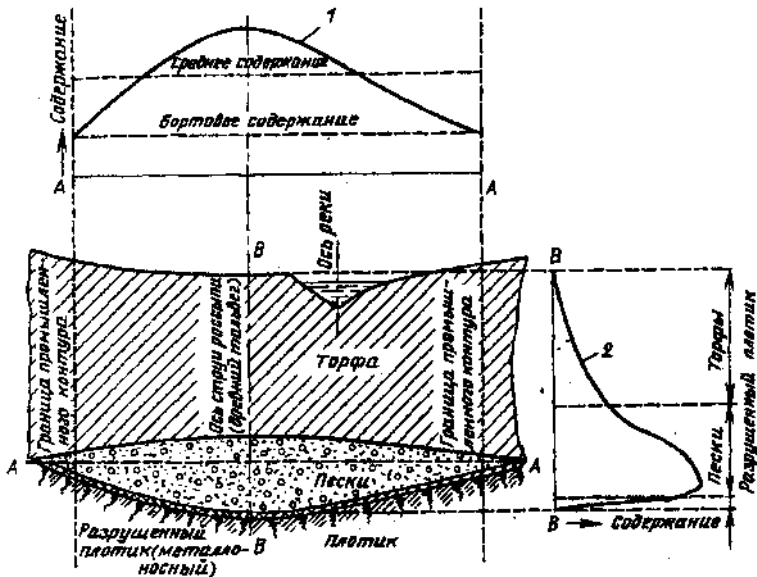


Рис. 1.1. Схематический поперечный разрез долины аллювиальной россыпи и распределение в ней золота и тяжелых минералов по глубине (по Б.В. Невскому):

- 1 - кривая распределения металла по ширине (A - A);  
 2 - кривая распределения золота по глубине россыпи (B - B)

И.С. Рожковым с соавторами предложена наиболее распространенная геолого-промышленная классификация [97], выделенная с учетом вышеуказанных признаков (табл. 1.2).

В россыпи первого типа (элювиальные) дополнительно добавлены коры химического выветривания, в большинстве своем развивающиеся по золото-кварцевому и золото-сульфидному оруденению [12, 99].

Наибольшее значение для материально-сырьевой базы имеет аллювиальный тип россыпей, на долю которого приходится 80 % запасов и добычи золота. По глубине залегания они разделяются на мелкозалегавшие (< 25 м) и глубокозалегавшие (> 25 м).

Классификация россыпей (по И.С. Рожкову)

Возрастные группы		Генетические типы	Морфологические типы
Ископаемые	Допалеозойские и палеозойские	Прибрежные (морские и озерные) аллювиальные, пролювиальные	Пластовые, линзовидные
Древние	Мезозойские и третичные	Элювиальные	Плещевидные на выровненных поверхностях и склонах
		Делювиальные	Плещевидные на склонах и ложковые
		Аллювиальные и пролювиальные	Долинные, террасовые, ложковые, карстовые и линзовидные
		Прибрежные	Пластовые и линзовидные
Молодые	Четвертичные и современные	Элювиальные	Плещевидные на выровненных поверхностях и склонах
		Делювиальные	Плещевидные на склонах и ложковые
		Аллювиальные	Косовые, русловые, долинные, террасовые, карстовые, ложковые и линзовидные
		Пролувиальные	Долинные, террасовые, ложковые, конусы выноса
		Прибрежные	Пляжные и террасовые
		Дельтовые	Линзовидные и пластовые
		Ледниковые	Морены или их отдельные участки
		Флювиогляциальные	Долинные и террасовые
		Золотые	Впадины на песчаных террасах и небольшие дюны

По запасам россыпные месторождения золота подразделяются на три группы: мелкие (< 500 кг), средние (500-5000 кг) и крупные (> 5000 кг). Группы более мелких россыпей, представляющих наибольший практический интерес по добыче золота, в свою очередь подразделяются на три группы: весьма мелкие (< 10 кг), очень мелкие (от 10 до 100 кг) и мелкие (до 500 кг) [3].

Распределение россыпей по видам добычи представлено в табл. 1.3. Среднегодовой объем промывки песков по способам промывки ориентировочно распределяется следующим образом: дражный – 33 %, гидравлический – 28 %, открытый – 38 %, подземный – 1 %.

Распределение россыпей золота РФ по способам добычи, %  
(по Б.И. Беневолюскому, 2002)

Способ добычи	Количество россыпей	Добыча
Дражный	8,0	12,5
Гидравлический	17,4	15,0
Открытый	72,6	69,0
Подземный	2,0	4,5
ИТОГО ПО РФ	100,0	100,0

Большинство россыпных месторождений РФ по составу относятся к мономинеральным. Однако в промышленных масштабах в них встречаются и другие полиминеральные комплексы. В шлиховой фракции отмечается присутствие платины, серебра, ильменита, титана, циркона, магнетита, драгоценных камней, что имеет весьма важное значение при решении проблемы комплексного использования сырья [53]. В зависимости от расположения на земной поверхности различают следующие наиболее распространенные типы россыпей [12, 56, 97, 99] (рис. 2.1).

*Пойменные (долинные)* россыпи залегают в поймах рек. Навесные отложения отличаются окатанностью и отсортированностью, меньшим содержанием валунов, особенно в нижних частях долины. В толще отложений встречаются отдельные прослойки глинистых и песчаных пород с галькой и валунами. Пласт песков выделяется достаточно четко и приурочен к нижней части отложений. Часто в россыпи содержится несколько пластов, расположенных на разных уровнях. Мощность отложений колеблется от 3 до 60 м. Долинные россыпи относятся к аллювиальным.

*Русловые и косовые* россыпи связаны с современным руслом рек и образуются от размыва вышележащих пойменных и увальных россыпей. Русловые россыпи залегают на дне рек, непосредственно на плотике или отложениях пойменной россыпи. Мощность отложений составляет 0,5...1,5 м, причем россыпь не имеет торфов.

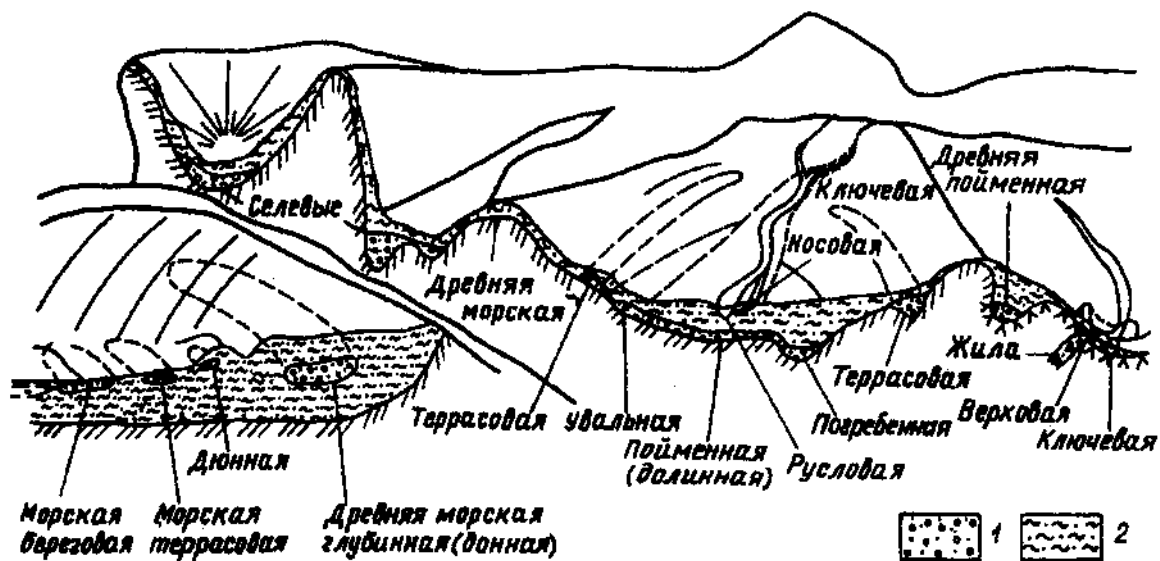


Рис. 2.1. Типы россыпей (по С.М. Шорохову):  
 1 – металлоносные породы (пески); 2 – пустые породы (глины)

*Косовые россыпи* залегают на верхней части отмелей. Отложения мелкозернистые и хорошо окатаны, зерна полезного ископаемого также мелкие. Металл или минералы в верхних частях речных наносов залегают в тонких пропластках, чередующихся с тонкими слоями пустых пород. Общая мощность пласта песков составляет около 0,5 м.

Русловые и косовые россыпи находятся в заметном постоянном движении и особенно быстро перемещаются по руслу во время половодья, а, будучи выработанными, могут восстанавливаться.

*Увальные и террасовые россыпи* представляют собой остатки старых пойменных россыпей, образовавшиеся в то время, когда ложе долины (плотика) находилось выше современного уровня реки. По ширине и характеру наносных отложений эти россыпи отличаются большой глинистостью или большой валунистостью, чем пойменные.

*Погребенные россыпи* образовались из старых пойменных россыпей. Плотик их залегают ниже плотика современной пойменной, а сверху они перекрыты делювиальными или илисто-глинистыми аллювиальными современными отложениями. Глубина россыпей достигает 200 м.

*Древние пойменные россыпи* являются остатками пойменных россыпей древней речной сети. Они сохранились в основном на возвышенностях вблизи водоразделов, смежных современных долин. Глубина их достигает 70 м.

*Морские береговые россыпи* образуются в полосе морского прибоя. Наносные месторождения мелкозернистые, торфа отсутствуют, а мощность пласта колеблется от нескольких сантиметров до 1,5 м. Вследствие подъема суши на некотором расстоянии от современного берега на более высоком уровне могут находиться террасовые морские береговые россыпи. Такие россыпи имеют песчанистые торфы мощностью 1...3 м, а пласт песков достигает 2...3 м.

*Морские донные россыпи* имеют различное происхождение. На дне моря могут находиться пойменные, террасовые россыпи речных долин или террасовые морские береговые россыпи, затопленные морем вследствие погружения суши. Под влиянием морских течений на

дне моря могут образоваться морские донные россыпи от размыва коренных залежей, выходящих на морское дно, или от размыва затопленных россыпей.

Древние морские донные россыпи находятся на суше, они появились вследствие подъема морского дна и сохранились на возвышенных местах поверхности. Мощность песков составляет 1...25 м. Мощность торфов 2...30 м.

Морские россыпи благородных металлов (золота, платины серебра), связанные с деятельностью моря, обладают рядом характерных особенностей не свойственных россыпным месторождениям. Из числа предложенных признаков выделяют [5]:

- подвижность (мобильность);
- подверженность к изменению размеров и запасов месторождения;
- способность к восстановлению после выработки;
- повышенная концентрация полезного компонента в зоне рельефа дна;
- существенное различие россыпных отложений по гранулометрическому и вещественному составу.

Для вещественного состава морских россыпей благородных металлов весьма характерны:

- высокая плотность ценных компонентов;
- значительная неоднородность гранулометрического состава вмещающих валунов, галечников, сростков полезных и породообразующих минералов;
- отсутствие глинистых и тонкозернистых частиц;
- весьма низкое содержание полезного компонента.

В последние годы в геологическую и производственную практику введен термин *техногенные россыпи*. Впервые как самостоятельный промышленный тип россыпных месторождений они были выделены академиком Н.А. Шилов [120]. Техногенные россыпи, согласно существующим классификациям подразделяются на две группы: остаточные целиковые и новообразованные отвальные [99].



К первой группе относятся бортовые и внутриконтурные целиковые россыпи, а также недоработки, то есть площади с недоработанными и не зачищенными песками. Обычно в целиковых россыпях остается 10-20 % запасов металла.

Ко второй группе относятся торфяные и галечно-эфельные отвалы. Последние представляют собой технологические отходы, их золотоносность отражает несовершенство применявшейся технологии промывки россыпей.

*Галечно-эфельные техногенные россыпи* обычно обогащены мелким и тонким золотом, а также могут содержать значительную примесь самородков, высвобождающихся при выветривании глинистых окатышей и рудной гальки.

Техногенные россыпи (как новый дополнительный тип [3]) образованы вследствие несовершенства применяемых технологий добычи и обогащения золотоносных песков. В XXI столетии проявляется четкая тенденция роста добычи золота из техногенных месторождений, представленных отвалами, целиками и недоработками промышленных лет. Особенностью отвального комплекса техногенных россыпей является высокое содержание труднообогатимых мелких классов золота, что обуславливает необходимость их дальнейшего вовлечения в эксплуатацию.

Техногенные россыпи, в которых заключено 10...30 % и более запасов исходной россыпи, являются в настоящее время важнейшим резервом золотодобывающей промышленности, особенно в старых золотодобывающих районах.

## **1.2. Гранулометрический и минералогический состав рыхлых отложений и шлиховых минералов**

Рыхлые отложения россыпей представлены обломочным материалом различной крупности. В каждой россыпи рыхлые отложения разделяют на валуны, галю, эфеля и шламы.

К валунам относят крупный материал, затрудняющий работу оборудования, их наименьший размер определяется конструктивными особенностями оборудования.

К гале относится весь грубозернистый материал, за исключением валунов, не содержащих, как правило, золота. В редких случаях в гале попадаются крупные самородки и сростки золота с пустой породой. Эфеля представлены песчано-галечным зернистым материалом, содержащим золото.

К шламам относят мелкозернистый материал, илистую и глинистую часть отложений.

В табл. 1.4 приведена классификация обломочного материала по крупности.

Т а б л и ц а 1.4

#### Характеристика обломочного материала по крупности

Обломочный материал	Крупность, мм				
	Более 200	от 200-100 до 10-2	от 2-1 до 0,25-0,05	от 0,05 до 0,005	Менее 0,005
Окатанный	Валуны	Галька (в том числе крупная, мелкая, гравий)	Песок (в том числе грубо-, крупно-, средне-, мелкозернистый)	Илистые частицы	Глинистые
Нескатанный	Глыбы	Обломки	—	—	—

Минералы тяжелой фракции, плотностью более  $3500 \text{ кг/м}^3$ , при обогащении концентрируются в мелких фракциях песков, называемых шлиховым комплексом (шлихами). Минералогический состав шлихов для разных месторождений весьма разнообразен. Перечень шлиховых минералов, наиболее часто встречающихся в золотоносных россыпях, приведен в табл. П.5.1.

Содержание шлиховых минералов в россыпях изменяется в широких пределах от десятков граммов на  $1 \text{ м}^3$  песков (Урал, Восточная Сибирь) до десятков килограммов (Якутия, Приморье).

### 1.3. Характеристика россыпного золота

#### 1.3.1. Физические и химические свойства золота и его основные минералы

Золото – это химический элемент 1-й группы таблицы Д.И. Менделеева, атомный номер 79, атомная масса 196,967. Природное золото состоит из стабильного изотопа  $^{197}\text{Au}$ , получены еще 13 радиоактивных изотопов с массовыми числами 192 – 196, 198 – 206 и периодами полураспада от нескольких секунд до 15,8 лет. Конфигурация электронов  $5d^{10} 6s^1$ .

Золото – мягкий ярко-желтый тяжелый металл с кубической гранцентрированной решеткой,  $a_0 = 4,0783 \text{ \AA}$ .

*Физические свойства золота.* Плотность золота  $19320 \text{ кг/м}^3$ ,  $T_{\text{плав.}} = 1046,5^\circ \text{ C}$ ,  $T_{\text{испар.}} = 2947^\circ \text{ C}$ , удельная проводимость (при  $0^\circ \text{ C}$  –  $311,48 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ), удельная теплоемкость –  $132,3 \text{ Дж (кг}\cdot\text{К)}$ , удельное сопротивление –  $2,065 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , электропроводность по отношению к меди (при  $0^\circ \text{ C}$ ) – 75 %, предел прочности при растяжении –  $100 \dots 140 \text{ МПа}$ , твердость по Бринелю –  $18,9 \cdot 10 \text{ МПа}$ . Золото – самый пластичный и ковкий металл: из 1 г золота можно получить лист площадью  $1 \text{ м}^2$ . Золото обладает сильными биохалько-, галогено-, и частично литофильными свойствами, имеет тенденцию к образованию комплексных соединений, в виде которых оно мигрирует в природе. Большинство исследователей склонны считать, что золото чаще мигрирует в виде галогенных и гидроксильных комплексов, об этом свидетельствует находка вростков сальвина и галита в самородном золоте. Золото в кислой среде устойчиво при высоких значениях Eh, а в щелочных – при более низких. В целом золоту присуща геохимическая двойственность: с одной стороны, являясь легко подвижным элементом, оно склонно к рассеянию, а с другой, как химически устойчивое – к минеральной концентрации.

*Химические свойства золота.* Степени окисления золота: +1, +2, +3, +5. В соединениях оно чаще проявляет валентность +1 и +3. Двух-

валентное устойчиво лишь в форме сульфидов, остальные соединения  $Au^{+2}$  разлагаются водой. Золото – исключительно химически инертно, на него не действуют разбавленные и концентрированные кислоты. При нормальных условиях Au не взаимодействует ни с кислородом, ни с серой, оно устойчиво в атмосфере и природных водах, но растворяется в водных растворах, содержащих лиганд и окислитель вместе (по отдельности они не способны растворить золото).

Золото растворяется:

1) в «царской водке»  $3 HCl + 1 HNO_3$  с образованием золотохлористоводородной кислоты  $H[AuCl_4]$ ;

2) в хромовой кислоте в присутствии хлоридов и бромидов щелочных металлов;

3) в цианидных растворах в присутствии воздуха или пероксида водорода с образованием цианоауратиона;

4) в растворах тиосульфата, тиомочевины в смеси  $KJ + J_2$ . При повышенной температуре золото взаимодействует с теллуrom с образованием  $AuTe_2$ , а также реагирует со всеми галогенами, но особенно с бромом.

Известны следующие искусственные соединения золота:

1)  $AuCl_3$  – возникает при температуре более  $200^\circ C$  в результате сублимации золота хлоридом;

2) «кассиев пурпур» возникает при восстановлении солей золота дихлоридом олова, это ярко-красный коллоидный раствор;

3) оксиды золота  $AuO_2$  и  $Au_2O_3$  получают при высокой температуре в вакууме;

4) гидроксид  $Au - Au(OH)_3$  выпадает в осадок при действии сильных щелочей на раствор  $AuCl_3$ ;

5) гидриды золота возникают при температуре более  $350^\circ C$  и давлении  $28...65 \cdot 10^8$  Па;

6) сульфоаураты  $MeAuS$  образуются при реакции золота с гидросульфидами щелочных металлов при высокой температуре;

7) сульфиды золота  $Au_2S_3$ ,  $Au_2S$  – метастабильны и распадаются с выделением металлической фазы;

8) комплексные соединения золота с различными лигандами:  $[AuCl_2]$ ,  $[AuCl_4]$ ,  $Au(OH)$ ,  $[Au(OH)_2]$ ,  $[Au(OH)_4]$ ,  $[AuCl_2(OH)_2]$ ,  $[AuBr_2]$ ,  $[AuBr_4]$ ,  $[AuJ_2]$ ,  $[AuF_4]$ ,  $[AuF_6]$ ,  $[AuS]$ ,  $[AuHS]$ ,  $[Au(S_2O_3)_2]$ ,  $[Au(CN)_2]$  и органическими соединениями. Все растворимые соединения золота токсичны (табл. 1.5).

Таблица 1.5

## Основные минералы золота

Название минерала	Химический знак	Содержание Au, %
Золото самородное	Au	66-98
Электрум	$AuAg$	37-63
Кюстелит	$Ag_3Au$	20-36
Амальгама золота	$Au_2Hg_3$	40
Амальгама золота-серебра	$Au_5Ag_{10}Hg$	до 90
Тетрааурикуприд	$AuCu$	70-73
Аурикуприд	$AuCu_3$	53-56
Куэроаурит палладия	$(Cu,Pd)_3Au_2$	62-85
Платинистое золото	$AuPt$	—
Мальдонит	$Au_2Bi$	65,9
Ауростибит	$AuSb_2$	41-51
Безсмертновит	$Au_7Cu_2PbTeO_2$	68-88
Богдановит	$Au_3PbCuTe$	57-63
Йидлибинскит	$Au_3Cu_2Pb_2TeO_7$	40-66
Монтбрейит	$AuTe_3$	38-48
Калаверит	$AuTe_2$	39-44
Костовит	$AuCuTe_4$	25-27
Креннерит	$(Au,Ag)Te_2$	31-44
Сильванит	$AuAgTe_4$	24-30
Петцит	$Ag_3AuTe_2$	24-27
Наггаит	$Pb_7Au(Te,Sb)_5S_6$	8
Фишессерит	$Ag_3AuSe$	24-28
Пенжинит	$(As, Cu)_4Au(S, Se)_4$	24
Петровскаит	$AuAg(S, Se)$	56-60
Итенбогардит	$Ag_3AuS_2$	27-35
Порпечит	$Au, Pd$	до 80
Золото родистое	—	—

По форме зерен различают золото:

- комковидное изометрической или сферической форм;
- плоское, пластинчатой формы (чешуйчатое, лепешкообразное);
- удлинённых форм (палочковидное, лентовидное).

### 1.3.2. Классификация золота по крупности

Несмотря на то, что гранулометрический состав золота является одним из основных технологических параметров, который определяет эффективность извлечения ценного компонента, в практике до сих пор нет единой классификации россыпного золота по крупности. Предложено несколько классификаций золота по крупности (табл. 1.6), но ни одна из них в отечественной практике повсеместного распространения не получила.

Т а б л и ц а 1 . 6

Классификация золота по крупности

Золото	Гицзолото (1936 г)	Флерова (1930 г)	Невского (1939 г)	Гипро- золото (1938 г)	ВНИИ-1 (1946 г)	Нигри- золото (1938 г)
	Крупность золота, мм					
Самородки	+4	+4,5	+5	+3	+10	+4
Крупное	+1	+2	-5+1,3	-3+1,5	-10+0,6	-4+1
Среднее	-1+0,5	-2+1	-1,3+0,6	-1,5+0,3		-1+0,5
Мелкое	-0,5+0,25	-1+0,15	-0,6+0,3	-0,3+0,15	-0,6	-0,5+0,25
Тонкое	-0,25+0,1	-0,15+0,074	-0,3+0,15	—	0,6	-0,25+0,15
Плавающее	-0,1	-0,074	-0,15	-0,15		-0,15

Наиболее распространенной является классификация золота по крупности на классы с постоянным модулем, равным 10 (табл. 1.7).

## Рекомендуемая Иргвредметом классификация золота по крупности

Крупность, мм	Размер отверстия нижнего сита, мм	Площадь отверстия, мм <sup>2</sup>	Логарифм предельного размера зерен, мкм	Класс крупности золота
+3 (3,15)	3 (3,15)	10	4-3,5	Весьма крупное
-3 (3,15) +1	1	1	3,5-3	Крупное
-1 +0,315	0,315	0,1	3-2,5	Среднее
-0,315 +0,1	0,1	0,01	2,5-2	Мелкое
-0,1+0,03 (0,0315)	—	—	2-1,5	Весьма мелкое
-0,03	—	—	1,5	Дисперсное

Для предприятий россыпной золотодобычи в технических документах и служебных материалах рекомендуется использовать классификацию россыпного золота, представленную в табл. 1.8.

Таблица 1.8

## Промышленная классификация россыпного золота

Золото	Крупность золота, мм
Самородки	+16
Крупные самородки	-16 +4
Крупное	-4 +1
Среднее	-1 +0,25
Мелкое	-0,25 +0,063
Особо мелкое	-0,063 +0,016
Дисперсное	-0,016
Коллоидное	-0,0001

В россыпях встречается золото различной крупности: от самородков массой в десятки килограммов до тончайших пылинок. В промышленных россыпях основное количество золота имеет крупность 0,1...0,4 мм.

### 1.4. Промывистость песков

Под промывистостью песков понимается способность рыхлых отложений размываться в потоке воды до такого состояния, при котором частицы не связаны друг с другом и освобождены от глинистых фракций. Промывистость песков зависит от цементации их верхними материалами, обычно пластичными глинами. По степени промывистости пески делятся [1, 12, 56, 82] на 4 категории (табл. 1.9): легкопромывистые, среднепромывистые, труднопромывистые, весьма труднопромывистые.

Таблица 1.9

Классификация песков по промывистости

Степень промывистости	Выход глинистых и шламовых фракций (<0,1 мм %)	Расход электроэнергии для механического разрушения кВт · ч/м <sup>2</sup>	Затраты времени на промывку в барабанном грохоте, мин	Эффективность грохочения фракций <4мм в барабанном грохоте, %	Число пластичности	Отношение количества глины к пескам	Величина максимальной молекулярной влагоемкости	Число промывистости	Время размыва песков в корытной мойке, мин	Коэффициент промывистости (по данным ЦНИГРИ)
Легкопромывистые	10		50	80	2-3	1:50	<7	<2,4	—	<1
Среднепромывистые	10-15		70-80	70-75	2-7	1:(20-40)	7-15	24-44	2,5	1-1,5
Труднопромывистые	15-20		120	50-60	7-15	1:(10÷8)	15-20	44-50	4,0	1,5
Весьма труднопромывистые	>30		—	40	>15	1:(2-4)	25	>50	6,0	—



На практике к глинистым относят породы, в которых содержание частиц менее 5 мкм (глинистой фракции) превышает 3 %, непосредственно к глинам – породы, в которых этой фракции содержится более 30 %. Почти все глины являются полиминеральными горными породами, состоящими из смеси глинистых минералов (монтмориллонита, каолинита, гидрослюда и др.) и примесей нерудных минералов: кварца, полевого шпата и др.

К физико-химическим свойствам глинистых песков, определяющим способность глин к разрушению, относятся: гранулометрический состав, плотность, объемная масса, пористость, пластичность, размокание, водопроницаемость, сопротивление сдвигу, структурная вязкость и естественная влажность [1, 56, 82, 85].

Ф.Д. Овчаренко установил, что пластическая прочность глины является функцией физико-химических свойств глинистых частиц, и предложил определять ее на основе гидрофильных свойств глин [85]. Этот способ является наиболее высокоточным, но весьма сложен в использовании.

Предложена эмпирическая зависимость для определения величины коэффициента (показателя) промывистости [1]

$$\hat{E} = \frac{D_{\varepsilon}}{\gamma^{\omega}}, \quad (1.1)$$

где  $P$  – число пластичности;

$\varepsilon$  – содержание иловой (менее 0,1 мм) фракции в песках, %;

$\gamma$  – содержание гали (+ 8 мм) в песках, %;

$\omega$  – влажность песков, %.

На основании исследований песков различных месторождений предлагается: при  $K < 1$  относить пески к легкопромывистым; при  $K = 1-1,5$  – к среднепромывистым; при  $K > 1,5$  – к труднопромывистым.

ИЦНИГРИ рекомендует промывистость песков определять по граничному классу крупности 0,1 или 0,074 мм [1, 82].

Переходя от промывистости к обогатимости песков, следует отметить, что металлоносные пески по обогатимости разделяют услов-

но на три характерные категории [1, 56, 82]: легко-, средне- и труднообогатимые (табл. 1.10).

Т а б л и ц а 1 . 1 0

**Классификация золотосодержащих песков по обогатимости**

Категория песков	Содержание валунов (+400 мм), %	Выход эфелей (-15 мм), %	Содержание илесто-глинистой фракции (-0,01 мм), %	Содержание самородков (+10 мм), %	Содержание мелкого золота (-0,2 мм), %
Легкообогатимые	0	< 40	< 5	0	< 3
Среднеобогатимые	0-5	40	7-10	0	3-10
Труднообогатимые	> 5	> 70	> 10	1	> 10

**Контрольные вопросы**

1. Расскажите о золотосодержащих россыпных месторождениях и их особенностях среди других полезных ископаемых.
2. Назовите основные генетические типы золотосодержащих россыпей.
3. Назовите техногенные россыпные месторождения золота и их разновидности.
4. Поясните строение россыпи и слагающие ее элементы.
5. Чем представлены рыхлые отложения россыпей?
6. Перечислите основные минералы шлихового комплекса золотосодержащих россыпей и их характеристики.
7. Расскажите об особенностях физических и химических свойств золота.
8. Что такое промывистость песков, и как классифицируются россыпи по степени их промывистости?
9. На какие категории подразделяются россыпи по обогатимости?

10. Раскройте классификацию золота по крупности.
11. Перечислите основные факторы, влияющие на выбор технологической схемы обогащения россыпей.

### ***Рекомендуемая литература***

1. Андреева Г.С. Переработка и обогащение полезных ископаемых россыпных месторождений / Г.С. Андреева, С.Я. Горюшкина, В.П. Небера. – М.: Недра, 1992. – 410 с.
2. Беневольский Б.И. Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы / Б.И. Беневольский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ЗАО «Геоинформарк», 1995.
3. Замятин О.В. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О.В. Замятин, А.Г. Лопатин, Н.П. Санникова, А.Д. Чугунов. – М.: Недра, 1975. – 264 с.
4. Мязин В.П. Повышение эффективности переработки глинистых золотосодержащих песков: учеб. пособие: В 2 ч. / В.П. Мязин. – Чита: ЧитПИ, 1995-1996.
5. Мязин В.П. Геологические особенности россыпных месторождений Забайкалья и технологические схемы их переработки: учеб. пособие / В.П. Мязин, Ю.Я. Кошелев, О.В. Литвинцева, Н.И. Закиева. – Чита: ЧитГУ, 2000. – 45 с.
6. Невский Б.В. Обогащение россыпей / Б.В. Невский. – М.: Металлургиздат, 1947.
7. Польшкин С.И. Обогащение руд и россыпей редких металлов / С.И. Польшкин. – М.: Недра, 1967. – 615 с.
8. Рожков И.С. Условия формирования и типы золотоносных россыпей // Тр. ЦНИГРИ. – М., 1967. – Вып. 76. – С. 3-22.
9. Россыпные месторождения России и других стран СНГ (минералогия, промышленные типы, стратегия развития минерально-сырьевой базы) / отв. ред. Н.П. Лаверов, Н.Г. Патык-Кара. – М: Науч. мир, 1997. – 479 с.

10. Соломин К.В. Обогащение песков россыпных месторождений полезных ископаемых / К.В. Соломин. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по горн. делу, 1961. – 400 с.
11. Троицкий В.В. Промывка полезных ископаемых / В.В. Троицкий. – М.: Недра, 1978. – 255 с.

## 2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Необходимым условием подготовки песков россыпных месторождений к обогащению является освобождение зернистой фракции песков от связи с глинистыми включениями (дезинтеграция) и удаление крупных непродуктивных фракций (гали, валунов) в отвал.

Эффективность процесса дезинтеграции песков зависит от следующих факторов [56, 104, 111]:

- гранулометрического состава, физико-химических свойств и степени промывистости песков;
- конструктивных особенностей дезинтегрирующих аппаратов;
- способа подготовки песков к дезинтеграции.

По конструктивным признакам дезинтегрирующие аппараты подразделяются на следующие группы:

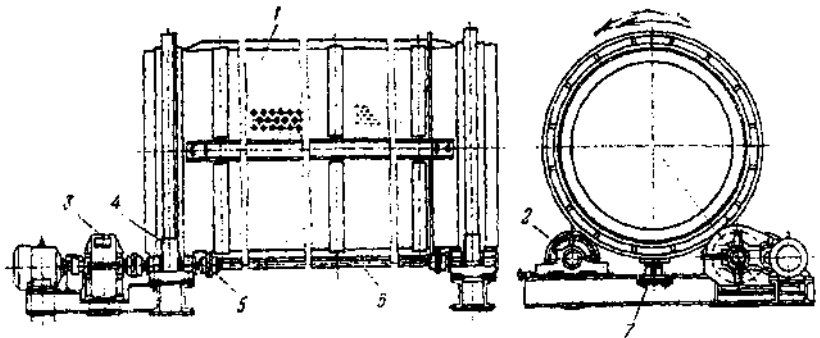
- барабанные;
- корытные;
- вибрационные;
- струйные.

Для дезинтеграции песков россыпных месторождений наибольшее распространение получили барабанные дезинтеграторы различной конструкции. Дезинтеграция песков в них осуществляется за счет трения кусков материала друг о друга и о движущиеся поверхности машин при воздействии воды.

### **2.1. Дезинтеграция легко- и среднепромывистых песков**

*Барабанные промывочные грохоты и бутары* представляют собой обычные наклонные грохоты, но в отличие от грохотов, применяемых для грохочения, они имеют различные приспособления внутри для более интенсивного механического и гидравлического воздействия на материал.

*Барабанный промывочный грохот* (рис. 2.1) состоит из цилиндрического барабана, разделенного на четыре става (отделенные секции): два глухих – у загрузочного и разгрузочного концов и два перфорированных – в средней части. Барабан закреплен на роликах и приводится во вращение с помощью привода 3. Внутри барабан снабжен продольными ребрами жесткости. Материал загружается во вращающийся барабан, в который через брызгала под напором вода.



**Рис. 2.1. Грохот барабанный промывочный ГБ-1,5:**  
 1 – барабан; 2 – ролики; 3 – привод; 4 – приводной ролик; 5 – муфты;  
 6 – вал; 7 – упорный ролик

*Бутары* по сравнению с промывочными грохотами имеют более мощную конструкцию, большее отношение длины к диаметру и более высокие кольцевые пороги между ставами, что создает возможность увеличения продолжительности пребывания материала в аппарате, а следовательно, улучшает дезинтеграцию и промывку.

Промывка материала в бутарах в большинстве случаев совмещена с операцией грохочения. Совмещение этих операций резко снижает эффективность дезинтеграции. Для обеспечения рациональных параметров дезинтеграции частоту вращения барабана рекомендуется принимать  $(0,7 \div 0,8) \cdot n_{кр}$  [107]. Для обеспечения эффективного грохочения критическая скорость ( $n_{кр}$ ) должна быть более 0,3...0,4. Соблюдение эффективных режимов дезинтеграции и грохочения воз-

можно лишь при невысокой производительности барабанных аппаратов.

Барабанные промывочные грохоты и бутары применяются для промывки легко- и среднепромывистых песков крупностью 200...300 мм. Технические характеристики барабанных грохотов и бутар приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

## Техническая характеристика барабанных промывочных грохотов и бутар

Параметры	Грохот барабанный ГБ-1,5	Бутара
Размеры барабана, мм:		
диаметр	1500	1330
длина перфорированной части	2500	5304
длина общая	4200	8300
Диаметр перфораций става барабана, мм	50,10	20
Угол наклона барабана, град	3-8	3
Частота вращения барабана, мин <sup>-1</sup>	10,7	16
Пропускная способность, т/ч	90	75
Максимальный размер кусков, мм	300-350	1500
Мощность электродвигателя, кВт	5,5	30
Габаритные размеры, мм:		
длина	5385	9008
ширина	2205	3000
высота	2090	2000
Масса (не более), т	5,2	12,4

Расход воды на промывку в барабанных грохотах и бутарах зависит от степени промывистости песков и колеблется от 2 до 10 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> песков, а расход электроэнергии – 0,14...0,75 кВт · ч/м<sup>3</sup>.

При промывке песков россыпных месторождений на драгах применяются барабанные грохоты – дражные бочки. Характеристика барабанных грохотов (дражных бочек) в зависимости от производительности драг приведена в табл. 2.2.

Промывка песков основана на размывающем воздействии на горную массу напорной струей воды, формируемой в гидромониторе. В гидровашгерде осуществляются одновременно процессы дезинтеграции и классификации материала по крупности с последующим удалением крупной гали в отвал. Подрешетный продукт грохочения направляется в гравитационные аппараты (как правило, шлюзы) с целью дальнейшего его обогащения. Расход воды на промывку составляет  $8...12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

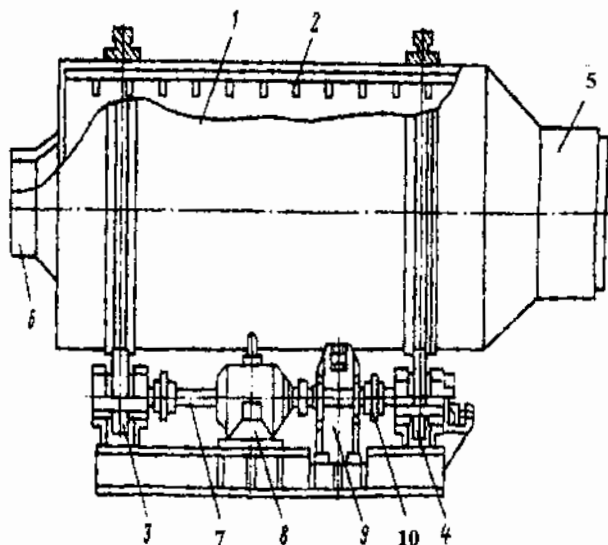
## **2.2. Дезинтеграция труднопромывистых песков**

Скрубберы (рис. 2.3, 2.4) в отличие от барабанных грохотов и бугар имеют глухие барабаны с торцевыми стенками, снабженные горловинами для загрузки и разгрузки материала. Внутри барабан имеет дезинтегрирующие и перемешивающие устройства. Внутренние поверхности барабана футеруются стальными плитами или резиной.

В процессе работы скруббера пески, поступающие в барабан через загрузочное отверстие, подвергаются воздействию перемешивающих и транспортирующих лопастей, создающих при вращении барабана каскадное вращение материала. Заполнение скруббера достигает 25 % его объема.

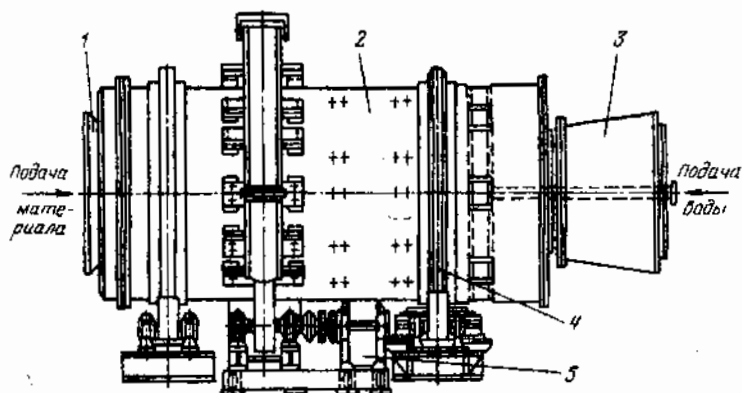
Скрубберы выпускаются двух типов: прямоточные и противоточные. В прямоточных скрубберах промываемый материал движется в одном направлении с потоком воды, а в противоточных – потоки воды движутся навстречу промываемому материалу. В противоточных скрубберах вода в виде шлама выходит через разгрузочный желоб, а промытый материал разгружается из барабана при помощи лифтеров. Такая конструкция обеспечивает более длительное пребывание материала в нем и лучшую дезинтеграцию.





**Рис. 2.3. Скруббер С-1.3:**

1 – глухой барабан; 2 – штыри; 3, 4 – соответственно приводной, упорный ролики; 5, 6 – разгрузочная и загрузочная горловины; 7 – вал  
8 – электродвигатель; 9 – редуктор; 10 – муфта



**Рис. 2.4. Скруббер конструкции Уралхиммаша [47]:**

1 – загрузочная воронка; 2 – рабочий барабан; 3 – разгрузочная горловина;  
4 – приводной ролик; 5 – электродвигатель

Техническая характеристика барабанных грохотов

Емкость черпака драги, л	Диаметр грохота, м	Угол наклона, град	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Диаметр перфорации грохота, мм	Длина перфорированной части, м	Производительность, м <sup>3</sup> /ч
80	1,5	7	16	8-16	6,3	95
150	1,4-1,6	6,3-7	16-17	8-15	5,4-6,5	68-90
210	1,15-1,6	7-7,5	10,3-14	6-32	8-8,3	130-150
250	2,4	7	13,5	8-16	11,4	310
380	2,7	7,3	7,8-9,1	8-40	11,4	212-390
600	3,2	7	8,7	8-80	15,3	500-600

Для дезинтеграции песков на промывочных приборах широкое применение получили гидравлические вальгерды (рис. 2.2). Гидровальгерд состоит из приемного бункера 1, галечного желоба 2, лотка 5 с решетом 6. Размыв и транспортировка материала осуществляется с помощью гидромонитора 4.

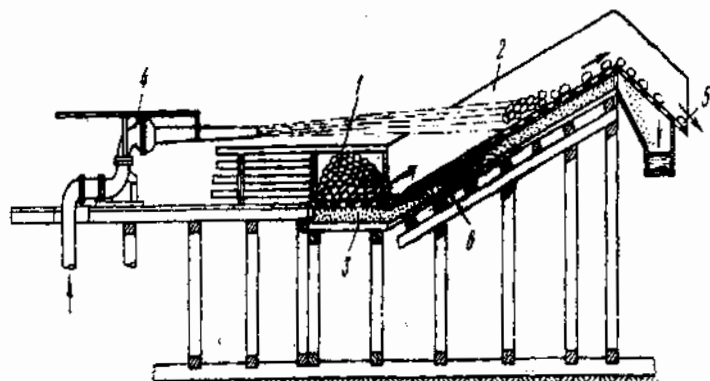


Рис. 2.2. Гидравлический вальгерд:

1 — бункер; 2 — галечный желоб; 3 — приемник; 4 — гидромонитор;  
5 — лоток; 6 — решет

Одна из последних разработок отечественной промышленности (ИТЦГОМ и ОАО «Завод Труд») скруббер СБ – 22 М (рис. 2.5). Это высокопроизводительный агрегат, имеющий ряд технологических и конструктивных достоинств по сравнению с зарубежными аналогами. В скруббере СБ-22 сведено до минимума истирающее воздействие промываемого материала на рабочую поверхность барабана за счет обеспечения принципа самофутировки. Увеличено удельное давление между дезинтегрирующими частицами за счет повышения степени заполнения барабана и снижения величин  $J : T$  [47].

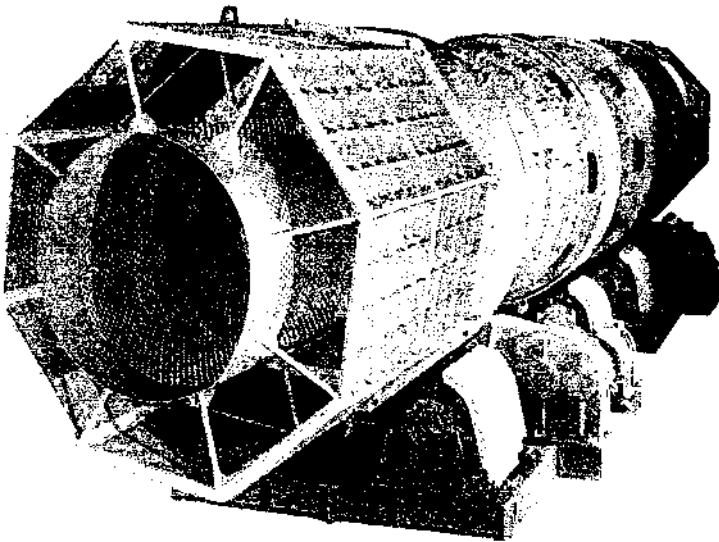
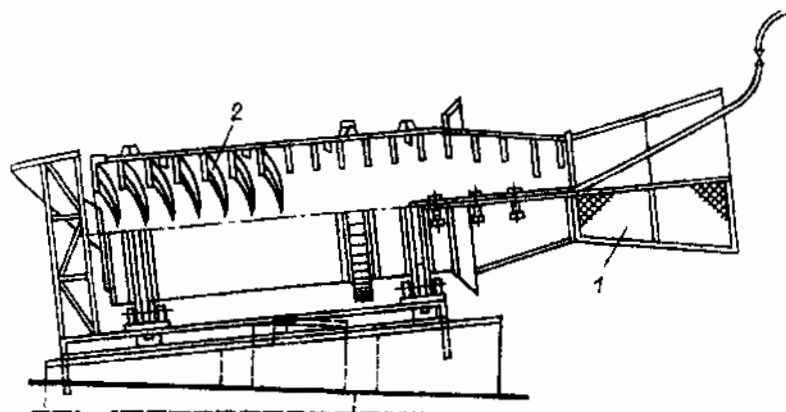


Рис. 2.5. Скруббер СБ-22 М

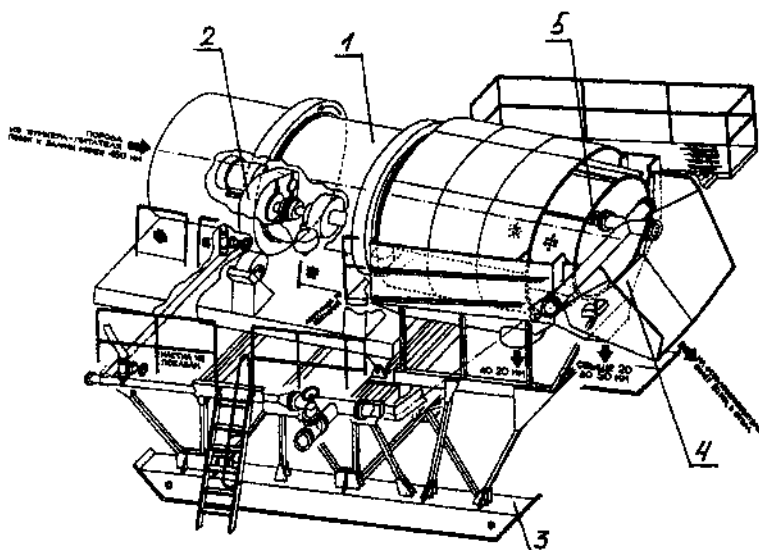
Скруббер-бутара (рис. 2.6) представляет собой соединенные глухой барабан (скруббер) и промывочный барабанный грохот (бутара). Между барабаном скруббера и грохотом имеется кольцевой порог. Скруббер-бутара устанавливается горизонтально или с углом наклона до  $7^\circ$ .



**Рис. 2.6. Скруббер-бута́ра:**  
*1 – конический грохот; 2 – внутренняя спираль*

Благодаря лопастям и большой частоте вращения барабана  $(0,7 \div 0,8) \cdot n_{кр}$ , движение приобретает водопадный характер. Промытый материал лопастями перемещается вдоль барабана скруббера и выгружается в барабан бутары для дополнительной промывки и выделения шламов. Шламы проходят через отверстия и попадают в лоток, расположенный под бутарой, а обезвоженный материал разгружается на разгрузочном конце бутары.

С учетом последних достижений в области конструирования скрубберных установок разработаны скрубберные консольные установки. Установки изготавливаются как комплексное промывочное устройство (рис. 2.7).



**Рис. 2.7. Скруберная консольная установка:**

- 1 - скруббер; 2 - привод; 3 - опорные несущие конструкции на санях;  
4 - эфелесборник-распределитель; 5 - оросительное устройство

Скруберные консольные установки имеют различные варианты исполнения скруббера:

- одноставные для легкопромывистых песков;
- двухставные и трехставные для средне- и труднопромывистых песков, а также развитых схем обогащения;
- с разделением исходного материала по крупности в широком диапазоне;
- с применением сетки для отделения мелких классов материала и высоким коэффициентом грохочения.

Особенность скрубберных установок заключается в следующем:

- оснащение скруббера износостойкими дезинтеграторами и перфорированными листами сеющих ставов;
- возможность регулирования угла наклона привода и, соответственно, скруббера для более эффективной дезинтеграции, грохочения и оптимальной производительности установки;

мобильность установки представляет широкую возможность применения в составе обогащительных аппаратов и комплексов различных исполнений.

Практика применения скрубберных установок (скрубберов и скруббер-бутар) показала высокую эффективность их применения для дезинтеграции и классификации средне- и труднопромывистых песков. Техническая характеристика наиболее широко используемых скрубберов и скруббер-бутар приведена в табл. 2.3, 2.4.

Т а б л и ц а 2 . 3

## Техническая характеристика скрубберных консольных установок

Производительность, м <sup>3</sup> /ч	25	50	100	200
Тип привода	—	фрикционный	—	—
Мощность привода, кВт	11	18	30	55
Общая масса установки, кг	9000	12000	18430	37685
Масса скруббера, кг	3000	4800	7836	17815

Для повышения эффективности дезинтеграции применяют специальные корытные мойки [111]. Эффект достигается за счет механического воздействия на пески, цементированных глиной. Наклонные мойки (рис. 2.8) состоят из наклонного желоба, внутри которого закреплены два вала с лопастями, вращающимися навстречу друг другу. Материал перемешивается и транспортируется лопастями вдоль ванны, разгружается через нижний конец. Шламы удаляются из ванны через боковые карманы или сливной порог со стороны загрузки.

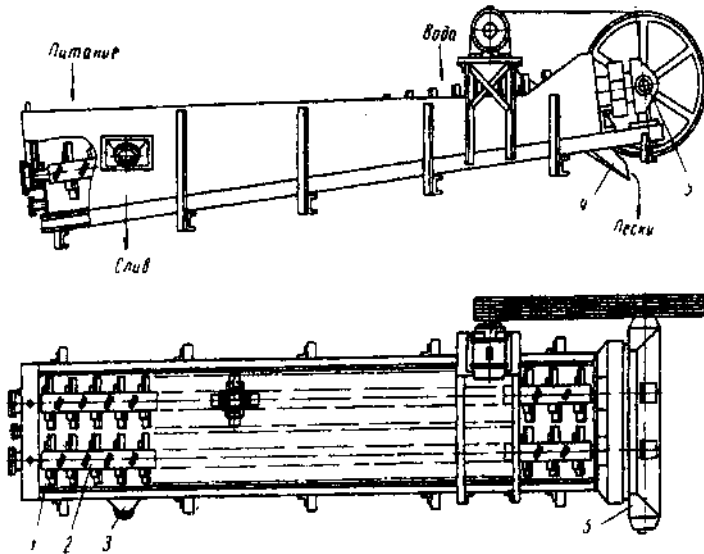
Характерные параметры корытных моек:

- угол наклона 7...12 градусов;
- скорость вращения вала 15...24 об/мин;
- расход воды – 2...8 м<sup>3</sup>/т песков.

Производительность корытных моек изменяется в пределах 40...250 т/ч.

Техническая характеристика скрубберов и скруббер-бутар

Параметры	Марка									
	С-12	СБ-12	ДС-53	ММК- 2,6	ММК- 3,3	ВНИПРОЗолото				СБ-22М
Размеры барабана, мм										
диаметр	1300	1300	1400	2605	3350	1820	2270	2720	3600	2250
длина	3000	3000	5600	4110	10770	4000	5000	6000	7800	—
Угол наклона барабана, °	0-6	0-6	2-4	—	—	0	0	0	0	—
Частота вращения барабана, мин <sup>-1</sup>	19,2	26,5	20	16	15	—	—	—	13,4-19,2	—
Пропускная способность, м <sup>3</sup> /ч	60	40	40	100	250	200	250	400	250	400
Максимальный размер материала, мм	150	150	—	—	—	—	—	—	300	300
Мощность электродвигателя, кВт	13	17	14	215	500	110	150	200	100	110
Габаритные размеры, мм										
длина	3810	5520	7750	6900	12000	8000	9000	10000	13600	8600
ширина	2155	2155	2024	3400	6300	3500	4000	4500	5120	4100
высота	2230	2230	2550	4800	5600	3000	3600	4000	4610	3950
масса, т	5,45	5,95	5,09	40,4	15,4	30,0	35	40	85,2	30,0



**Рис. 2.8. Наклонная корытчатая мойка:**

1 - корыто; 2 - вал с лопастями; 3 - сливной патрубком; 4 - разгрузочный лоток;  
5 - приводной механизм

Корытчатые мойки могут также оснащаться классификаторами (рис. 2.9). В классифицирующем устройстве происходит классификация проdezинтегрированного материала на галю и эфеля. Галя удаляется из классифицирующего отделения колесным элеватором, а пульпа уходит в слив [119].

В связи с увеличением объемов ввода в эксплуатацию труднообогатимых высокоглинистых россыпей требуется повышение эффективности дезинтеграции сцементированных песков путем направленного физико-химического воздействия на вмещающие глины. В практике россыпной золотодобычи в качестве физико-химических воздействий на вмещающие глины широко используют химические реагенты-диспергаторы [56, 62, 66].



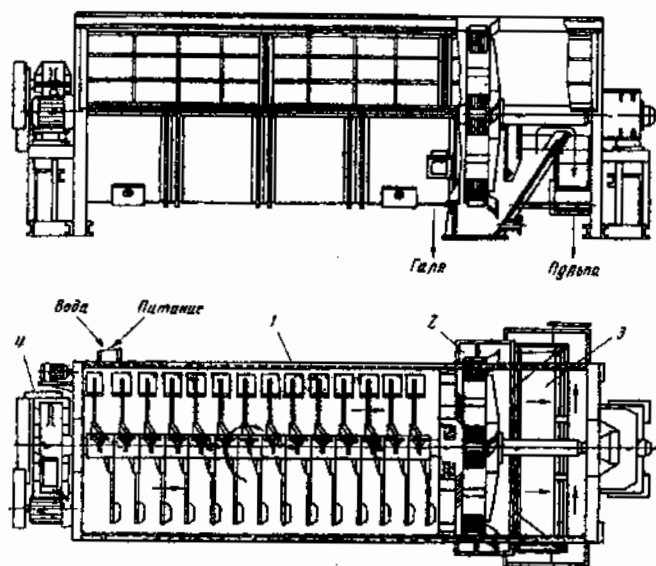


Рис. 2.9. Горизонтальная корытная мойка:

1 – бичевое отделение; 2 – ковшовое отделение; 3 – классификатор; 4 – привод

### 2.3. Дезинтеграция глинистых песков с использованием реагентов-диспергаторов

Воздействие реагентами-диспергаторами на глинистые пески может осуществляться с помощью специальных и геотехнологических приемов как на стадии подготовки сырья к обогащению, так и при проведении основных процессов обогащения полезных ископаемых [88, 128, 131].

На стадии подготовки к промывке, спеменированных глиной песков, для разупрочнения их контактных связей на границе раздела фаз «жидкое – твердое» применяются следующие способы [56]:

- реагентная обработка глинистых песков в массиве путем бурения скважин и нагнетания в них рабочих растворов-диспергаторов заданной концентрации;

- инфльтрационная обработка массива глинистых песков раствором реагентов-диспергаторов;
- изменение солевого состава размывающей струей воды, подаваемой в дезинтегрирующие аппараты;
- сочетание электрохимических, магнитоэлектрических и реагентных методов воздействия на разделительную среду и вмещающие глинистые примеси.

Разработан и реализован на объектах ВПО «Союззолото» способ подготовки металлоносных глинистых песков к обогащению, заключающийся в использовании в качестве диспергаторов хлоридов металлов – отходов титаномагниевого производства и жидкого стекла [131]. Для повышения эффективности диспергирования металлоносных песков реагенты диспергаторы могут также подаваться непосредственно в дезинтегрирующие устройства. Добавка реагентов (кальцинированной соды, жидкого стекла, хлоридов металлов) повышает эффективность и снижает время размыва глины.

Размываемость глин в обогатительных аппаратах проявляется более четко при предварительном насыщении глинистых песков хлоридами металлов и последующем воздействии на них бегущим магнитным полем [127].

Однако решить проблему дезинтеграции глинистых песков не удастся, несмотря на значительное увеличение эксплуатационных затрат. Поэтому перспектива решения проблемы дезинтеграции труднообогатимых глинистых песков должна заключаться в создании методов комбинированного воздействия на вмещающие глины (механических, физических и физико-химических), применение которых должно начинаться со стадии подготовки сырья к обогащению и заканчиваться основными технологическими процессами.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите факторы, влияющие на эффективность дезинтеграции песков.
2. Назовите типы дезинтегрирующих аппаратов и их особенности.
3. В чем заключаются конструктивные особенности аппаратов, применяемых для дезинтеграции легко-, средне- и труднопромывистых песков?
4. Расскажите о дезинтеграции песков в скрубберах и скруббер-буторах, корытных мойках, конструктивные и технологические параметры этих аппаратов.
5. Назовите физические и физико-химические методы интенсификации процессов дезинтеграции труднопромывистых песков.

### **Рекомендуемая литература**

1. Андреева Г.С. Переработка и обогащение полезных ископаемых россыпных месторождений / Г.С. Андреева, С.Я. Горюшкина, В.П. Небера. – М.: Недра, 1992. – 410 с.
2. Бочаров В.А. Технология обогащения золотосодержащего сырья: учеб. пособие для вузов / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина. – М.: Руда и металлы, 2003. – 408 с.
3. Мязин В.П. Повышение эффективности переработки глинистых золотосодержащих песков: учеб. пособ. Ч. 2 / В.П. Мязин. – Чита: ЧитГТУ, 1996. – 119 с.
4. Троицкий В.В. Промывка полезных ископаемых / В.В. Троицкий. – М.: Недра, 1978. – 78 с.
5. Шанаурин В.Е. Обогащение россыпей / В.Е. Шанаурин. – М.: Недра, 1970. – 248 с.

### 3. ГРАВИТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ

#### 3.1. Теоретические основы гравитационного обогащения

Гравитационное обогащение золотосодержащих песков основано на разделении минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером или формой. Разделение минеральных частиц обусловлено различием в характере и скорости их движения в среде под действием силы тяжести и сил сопротивления [31, 90, 121].

*Плотность минерала* – отношение массы зерна в монолите к его объему

$$\delta = \frac{m}{V}, \quad (3.1)$$

где  $\delta$  – плотность минерала, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – масса, кг;

$V$  – объем, м<sup>3</sup>.

*Крупность зерна*, определяемая его линейным размером. При расчете используют понятие “эквивалентный диаметр”, то есть диаметр шарообразного зерна, объем которого равен объему зерна неправильной формы

$$d_s = 1,243 \sqrt[3]{\frac{m}{\delta}}, \quad (3.2)$$

где  $d_s$  – эквивалентный диаметр, мм.

*Коэффициент формы* – отношение поверхности равновеликого шара к поверхности зерна неправильной формы

$$\varphi = \frac{S_{ш}}{S}, \quad (3.3)$$

где  $\varphi$  – коэффициент формы;

$S_{ш}$  – площадь поверхности шара, м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь поверхности зерна неправильной формы, м<sup>2</sup>.

*Скорость падения зерна* относительно среды определяется соотношением следующих сил: силы тяжести, подъемной (архимедовой)

силы, сопротивления среды, механического взаимодействия зерен друг с другом при их соприкосновении.

Сила сопротивления среды зависит от режима движения потока, который может быть ламинарным или турбулентным [31, 121].

Ламинарный режим преобладает при небольших скоростях и малых размерах (менее 0,1 мм) движущихся тел и сопровождается плавным скольжением слоев жидкости позади движущегося тела.

Турбулентный режим преобладает при высоких скоростях и больших размерах (более 2 мм) движущихся тел.

Для характеристики режима течения жидкости используют параметр Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \Delta}{\mu}, \quad (3.4)$$

где  $v$  – скорость движения частицы относительно среды, м/сек;

$d$  – диаметр зерна, м;

$\Delta$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – коэффициент вязкости среды,  $\frac{н \cdot с}{м^2}$ .

При параметре  $Re < 1$  режим потока ламинарный, при параметре  $Re > 1000$  режим потока турбулентный. Для промежуточной области значений параметра Рейнольдса (1...1000) режим потока носит неустойчивый, переходной характер.

*Характеристика сил, действующих на падающее минеральное зерно (детерминистский подход)*

Сила тяжести ( $G$ ) направлена вниз и определяется по формуле

$$G = mg = V \cdot \delta \cdot g, \quad (3.5)$$

где  $V$  – объем тела, м<sup>3</sup>;

$\delta$  – плотность тела, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Подъемная (Архимедова) сила ( $G_1$ ) направлена вверх и определяется по формуле

$$G_1 = V \cdot \Delta \cdot g, \quad (3.6)$$

где  $\Delta$  – плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ .

Сила сопротивления среды ( $P$ ) при движении в ней тела определяется по формуле

$$P = \psi \cdot v^2 \cdot d^2 \cdot \Delta, \quad (3.7)$$

где  $\psi$  – коэффициент сопротивления, который зависит от режима потока:

– при турбулентном

$$\psi = \frac{\pi}{16}; \quad (3.8)$$

– при ламинарном

$$\psi = \frac{3\pi}{Re}; \quad (3.9)$$

– при переходном режиме

$$\psi = \frac{5\pi}{8\sqrt{Re}}. \quad (3.10)$$

Под действием гравитационной силы тело постепенно увеличивает скорость движения, одновременно испытывая возрастающее сопротивление среды. По истечении некоторого отрезка времени тело приобретает постоянную скорость, называемую конечной скоростью.

Следует подчеркнуть, что различие в конечных скоростях движения тел в среде относится к числу важнейших факторов, определяет эффективность разделения минеральных частиц в гравитационных аппаратах.

### 3.1.1. Определение конечных скоростей свободного и стесненного падения зерен

Методология расчета скоростей свободного движения зерен основана на использовании [31, 42, 82, 116, 121]:

- теоретических уравнений;
- эмпирических и интерполяционных формул;

-- номограмм, графиков, табличных данных, составленных на основе экспериментальных данных.

### *Определение конечных скоростей свободного и стесненного падения частиц*

В зависимости от крупности минеральных частиц используются формулы Риттингера, Алена, Стокса, Лященко.

Формула Риттингера используется для расчета конечных скоростей свободного падения частиц крупностью 0,15...15 мм:

$$v = K \sqrt{d \cdot \left( \frac{\delta - \Delta}{\Delta} \right)}, \quad (3.11)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от плотности и формы частицы;

$d$  – диаметр частицы, мм;

$\delta$  – плотность частицы кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>.

Формулу Алена используют при крупности 0,1... 2 мм:

$$v = K d^3 \sqrt{\frac{(\delta - \Delta)^2}{\mu \Delta}}. \quad (3.12)$$

При падении в среде мелких зерен, скорость которых мала, диаметром сопротивления можно пренебречь и учитывать лишь сопротивление вязкой среды. В этом случае конечную скорость вычисляем по формуле Стокса:

$$v = K d^2 \frac{(\delta - \Delta)}{\mu}, \quad (3.13)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от плотности и формы частицы;

$d$  – диаметр частицы, мм;

$\delta$  – плотность частицы кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – вязкость среды, н·с/м<sup>2</sup>.

П.В. Лященко разработал универсальный метод, который применим для определения конечных скоростей движения тел любой крупности, плотности и формы.

Основой для разработки этого метода явилась диаграмма Реслея (рис. 3.1), графически изображающая функцию  $\psi = f(Re)$ .

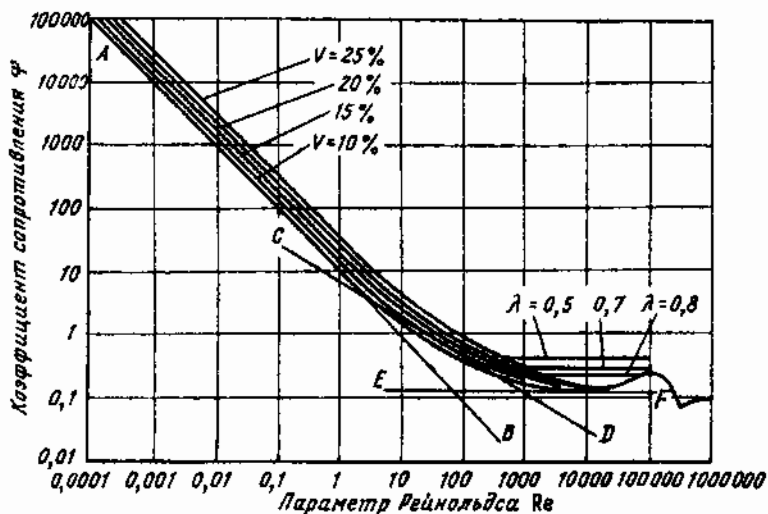


Рис. 3.1. Диаграмма Реслея

Сущность метода определения конечной скорости падения частиц заключается в том, что для известных параметров зерна и среды рассчитывается параметр  $Re^2 \psi$  по формуле

$$Re^2 \psi = \frac{\pi \cdot d^3}{6} (\delta - \Delta) g \frac{\Delta}{\mu^2}. \quad (3.14)$$

По значению  $Re^2 \psi$  на диаграмме (рис. 3.2) находится соответствующее ему значение параметра Рейнольдса, после чего по формуле (3.4) определяется скорость движения частиц.



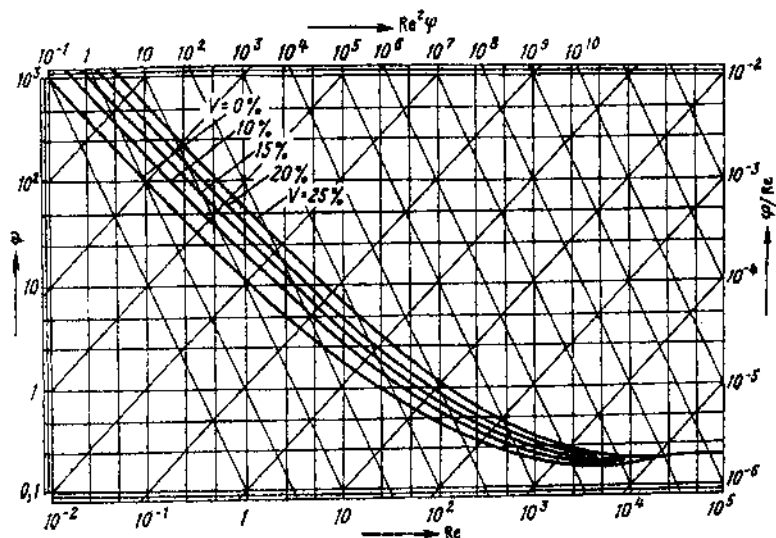


Рис. 3.2. Номограмма для определения коэффициента сопротивления и параметра Рейнольдса

При движении полиминеральных зерен, отличающихся крупностью и плотностью, всегда присутствует некоторое количество зерен, перемещающихся с одинаковыми скоростями. Такие зерна принято называть равнопадающими. Равнопадаемость зерен как основной критерий характеризуется коэффициентом равнопадаемости ( $e$ ) – отношением размера зерна легкого минерала к размеру зерна тяжелого минерала равнопадающего с ним [121]:

$$e = \frac{d_1}{d_2}, \quad (3.15)$$

где  $d_1$  – размер легкого минерала;

$d_2$  – размер тяжелого минерала.

В гравитационных аппаратах происходит массовое движение и осаждение минеральных частиц. При этом каждая движущаяся частица испытывает влияние других зерен. Среда разделения, в которой происходит движение частиц, испытывает воздействие как отдельных частиц, так и всего движущегося массопотока.

Для расчета скорости стесненного падения массы зерен однородной крупности пользуются формулой

$$v_{ст.} = v_0 (1 - \lambda)^n, \quad (3.16)$$

где  $v_0$  – конечная скорость падения зерен;

$n$  – показатель, величина которого зависит от формы и крупности зерен и определяется опытным путем;

$\lambda$  – объемная концентрация твердого при данной скорости восходящего потока воды.

### 3.1.2. Движение минеральных зерен в безнапорном наклонном потоке

Различают следующие виды движения:

– движение зерен влечением по дну потока или по поверхности ранее отложившихся зерен путем качения или скольжения;

– скачкообразное (прерывисто взвешенное) движение зерен, или сальтация, когда зерна некоторое время движутся влечением, а затем взвешиваются и переносятся потоком на некоторой высоте, после чего опять падают, и т.д.;

– движение зерен в непрерывно-взвешенном состоянии.

Характер движения зерен в потоке зависит от скорости и глубины потока, состояния дна, гидравлической крупности частиц и концентрации твердых частиц в потоке [31, 78, 82, 104, 121].

Перемещение зерна в форме шара скольжением и перекатыванием по дну потока (рис. 3.3) происходит под действием следующих сил:

-- гравитационной силы (сила тяжести и сила Архимеда)  $P$

$$P = mg \frac{\rho_T - \Delta}{\rho_T}; \quad (3.17)$$

– силы динамического давления струи воды на зерно  $P_v$

$$P_v = \psi \Delta d^2 (v_{cp.} - v_s)^2, \quad (3.18)$$

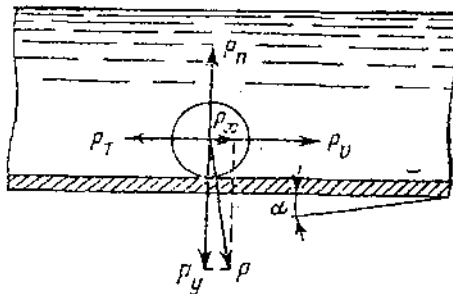


Рис. 3.3. Схема сил, действующих на частицу в жидкости, текущей по наклонной плоскости [121]

где  $\psi$  – коэффициент гидродинамического сопротивления в направлении продольного перемещения зерна (вдоль потока);

$U_{cp.}$  – средняя скорость потока на высоте, равной  $d$ ;

$U_3$  – скорость движения зерна;

– подъемной силы  $P_n$ , возникающей от турбулентных вихрей

$$P_n = \psi_1 \Delta U_{верт}^2 d^2, \quad (3.19)$$

где  $\psi_1$  – коэффициент гидродинамического сопротивления потока в направлении движения частицы перпендикулярно потоку;

$U_{верт}$  – вертикальная составляющая скорости потока.

Сопротивление, оказываемое потоком перерезающему его телу,  $\psi_1$  не равно  $\psi$ , оно существенно больше и зависит от соотношения скоростей в вертикальном и горизонтальном направлениях;

– силы трения  $P_T$

$$P_T = (P \cos \alpha - P_n) f, \quad (3.20)$$

где  $f$  – коэффициент трения частицы о дно желоба.

При установившемся движении силы в направлении потока уравновешиваются:

$$mg \frac{\rho_T - \Delta}{\rho_T} \sin \alpha + \psi \Delta d^2 (U_{cp.} - U_3)^2 = f (mg \frac{\rho_T - \Delta}{\rho_T} \cos \alpha - \psi_1 \Delta U_{верт}^2 d^2).$$

(3.21)

Скорость частицы из уравнения равна:

$$v_z = v_{cp} - \sqrt{\frac{mg_0}{\psi d^2 \Delta} (f \cos \alpha - \sin \alpha) - \frac{\psi_1}{\psi} f v_{верт}^2}, \quad (3.22)$$

величина  $\frac{mg_0}{\psi d^2 \Delta} = \frac{\pi d^3 \rho_T (\rho_T - \Delta) g}{6 \psi d^2 \Delta \rho_T} = \frac{\pi g d (\rho_T - \Delta)}{6 \psi \Delta} = v_0^2$  равна

квадрату скорости свободного падения зерна.

Для аппаратов с малыми углами наклона ( $\alpha < 6^\circ$ )  $\sin \alpha$  является малой величиной, а  $\cos \alpha$  — близок к единице, при упрощении  $\psi = \psi_1 = \psi_0$  (где  $\psi_0$  — коэффициент сопротивления при свободном падении зерна в жидкости), получим

$$v_z = v_{cp} - \sqrt{f(v_0^2 - v_{верт}^2)}. \quad (3.23)$$

Из уравнения следует, что при  $v_0 > v_{верт}$  зерно может скользить по поверхности, а при  $v_0 < v_{верт}$  зерно будет взвешено в потоке. Отсюда следует важный вывод, что для гравитационного расслоения зерен в потоке необходимо создавать такие режимы движения, чтобы исключить перенос во взвешенном состоянии тяжелых зерен, извлекаемых в концентрат. Гравитационное обогащение в наклонных потоках проводят, как правило, стадийно:

— с предварительным разделением материала по крупности и отдельным обогащением крупной и мелкой фракций при оптимальных для каждого класса скоростных режимах;

— с предварительным выделением из отходов крупной фракции, не содержащей ценных компонентов (вторая стадия обогащения) с последующим использованием режимов дообогащения мелкой фракции при сниженных скоростях потоков.

### 3.1.3. Взвешивающая способность транспортирующих потоков и особенность распределения минеральных зерен по глубине

На основании оценки сил, действующих на частицу в наклонном потоке (рис. 3.4), следует [31]:

· движение частицы возможно (и она получит вертикальное перемещение), если подъемная сила  $P_n$  превысит составляющую силы веса зерен в среде  $P$ ,

· зерно будет скользить или катиться по дну потока, если сила гидродинамического давления потока на зерно  $P_v$  превзойдет силу трения  $P_T$ .

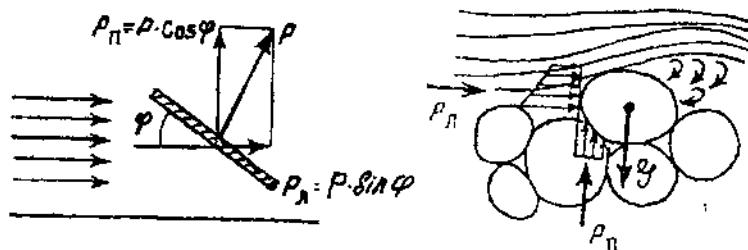


Рис. 3.4. Фрагмент, характеризующий возникновение подъемной силы по глубине потока при обтекании тела

Возникновение подъемной силы в потоке объясняется появлением вертикальной составляющей профильного сопротивления обтекаемого зерна. По Н.Е. Жуковскому [31], на пластинку, помещенную в поток под углом  $\varphi$  (угол атаки), действует общее гидродинамическое давление потока  $p$ , которое можно разложить на лобовое давление  $P_t$  и подъемную силу  $P_n$ .

В общем виде

$$P_t = \psi_x F_n \frac{\rho v_d^2}{2}; \quad (3.24)$$

$$P_n = \psi_n F_n \frac{\rho v_d^2}{2}, \quad (3.25)$$

где  $\psi_x$  и  $\psi_n$  – соответственно коэффициенты сопротивления лобового давления и подъемной силы;

$F_x$  и  $F_n$  – площади проекции зерна на плоскости, перпендикулярные линиям действия лобовой и подъемной сил;

$v_x$  – скорость движения потока на высоте, равной диаметру зерна.

#### ***Распределение зерен по глубине безнапорного наклонного потока***

На минеральные зерна обогащаемого продукта, движущиеся в турбулентном потоке, значительное влияние оказывает масштаб пульсационных движений [109]. Согласно А.Н. Колмогорову [121], гашение турбулентных пульсаций, может происходить лишь тогда, когда концентрация зерен в потоке достаточно велика, чтобы «архимедовские» ускорения стали бы одного порядка с ускорениями, типичными для турбулентных пульсаций. При этом влияние твердых частиц на характеристики потока усиливается с увеличением концентрации и крупности частиц и ослабляется с ростом скорости потоков. Взвешенные частицы не участвуют в мелкомасштабных (высокочастотных) пульсациях и поэтому гасят их, но они участвуют в крупномасштабных пульсациях, упрочняют их вследствие своей большой инерционности. Это приводит к тому, что потоки с взвешенными в них зернами обладают более высокой несущей способностью, а следовательно, имеют более высокое силовое воздействие.

Для движения зерен влечением, например сальтацией, гидродинамическая картина потока значительно усложняется вследствие неоднородного распределения концентрации зерен по глубине потока.

Зерна, движущиеся в потоке без выпадения на дно, распределяются по высоте потока (при малых концентрациях твердого в потоке) в соответствии с диффузионной теорией [109, 121].

Диффузионная теория распределения взвешенных зерен в потоке основывается на том, что перенос в потоке среднего количества какой-то субстанции, например объема твердой фазы, пропорционален градиенту осредненного содержания ее в потоке. Вертикальный

перенос объема твердой фазы ( $S'$ ) в единицу времени через единицу площади под действием гидродинамических сил потока равен

$$\overline{WS'} = -\varepsilon_T \frac{\partial \bar{S}}{\partial y}. \quad (3.26)$$

В установившемся потоке объем поднимающихся вверх зерен должен равняться объему зерен, опускающихся под действием силы тяжести вниз:

$$\overline{WS'} = \bar{S}V_0, \quad (3.27)$$

где  $V_0$  – гидравлическая крупность.

После разделения переменных и интегрирования дифференциального уравнения (3.24) получим

$$\bar{S} = \bar{S}_0 e^{-V_0 \int dy / \varepsilon_T}. \quad (3.28)$$

Если принять распределение скоростей в потоке по закону параболы, а  $\varepsilon_0 = \text{const}$  (по М.В. Маккавееву), то получим окончательную формулу

$$S = S_0 e^{-V_0 \frac{y-a}{\varepsilon_T}}. \quad (3.29)$$

где  $S_0$ ,  $S$  – концентрация зерен на уровне «а» и на уровне «у»;

$V_0$  – гидравлическая крупность частиц;

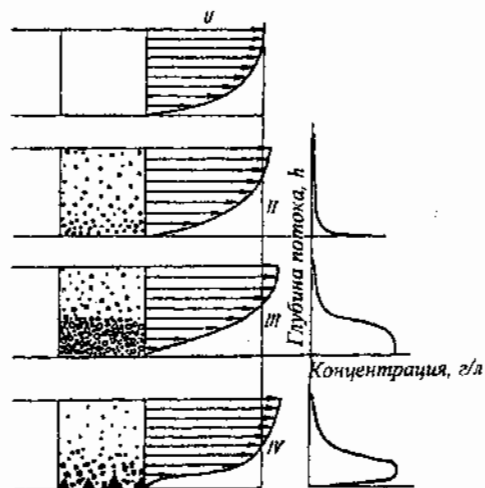
$\varepsilon_T$  – коэффициент турбулентного переноса;

$y$  – уровень, на котором определяется концентрация зерен.

Анализируя данное уравнение, можно сделать следующее заключение, что для потоков с малой концентрацией зерен, движущихся во взвешенном состоянии, концентрация плавно возрастает от поверхности ко дну потока по экспоненциальной зависимости. Причем гранулометрическое распределение зерен по высоте происходит по их гидравлической крупности.

Для потоков с достаточно высокой концентрацией зерен (более 10...15 %), транспортирующихся влечением, характерно образование подвижного сплоченного донного слоя. Между этим донным слоем и основным потоком существует еще переходный слой, или слой саль-

тации. В результате такого распределения зерен образуются два уровня повышенных градиентов скоростей — на верхней и нижней границах сальтационного слоя (рис. 3.5). Сплоченность зерен в собственно донном слое составляет до 40 % (по объему). Проникновение через такой слой крупных зерен на дно потока весьма затруднено. С другой стороны, генерация турбулентности на верхней границе этого плотного слоя ведет к взвешиванию не отдельных зерен, а отдельных агрегатов.



**Рис. 3.5. Вертикальное распределение усредненных скоростей потоков различного насыщения их твердыми зернами [121]:**

- I — при отсутствии зерен; II — при наличии полностью взвешенных зерен;  
 III — при наличии движущегося донного слоя зерен;  
 IV — при неподвижном донном слое*

Разрыхление зерен и массообмен в потоке определяются масштабом возникающих турбулентных завихрений. Причем сальтационный слой в наклонном потоке выступает как дополнительная шероховатость дна с высотой выступов, пропорциональной толщине этого слоя.



Гранулометрическое распределение зерен по глубине такого потока с влекомыми частицами существенно отличается от равномерного распределения их по гидравлической крупности в потоках с взвешенными зернами и малой их концентрацией. С ростом концентрации зерен в потоке (10...15 % по объему) наблюдается сегрегационное распределение их по вертикали. Происходит инверсия характера распределения зерен по крупности в потоке, в результате чего донные слои потока обогащаются мелкими зернами, а верхние – крупными фракциями. С увеличением турбулизации потока донный слой разрушается, и характер распределения зерен по вертикали становится наиболее значимым для процессов гравитационного обогащения золотосодержащих песков.

### **3.2. Качество промывочных (технологических) вод и их влияние на эффективность гравитационного обогащения**

#### **3.2.1. Фазово-дисперсная характеристика примесей технологической воды**

Качество технологической воды, используемой при промывке песков, определяется особенностью коллоидно-дисперсионной фазы и дисперсионной среды [52, 53].

Сравнительный анализ данных опробования технологической воды при дражном и гидромеханизированном способах промывки глинистых песков показал, что в диапазоне крупности минеральной фракции  $-40+5$  мкм наибольший выход илесто-глинистых частиц приходится на классы  $-20+10$  и  $10$  мкм. Выход частиц ( $< 10$  мкм), способных скоагулировать под влиянием природных электролитов, составляет от 16 до 63 %. Содержание тонкодисперсных глинистых частиц  $-5$  мкм колеблется в широких пределах, достигая до 56 %. Плотность взвешенных частиц может в пределах  $2100-2700$  кг/м<sup>3</sup>.

Степень дисперсности ( $a$ ) и содержание глинистых частиц ( $M$ ) по глубине потока в технологических водоемах и котлованах ( $h$ ), используемых для промывки песков, довольно хорошо аппроксимируется уравнением прямой и экспоненты

$$a = \frac{\gamma_1 a_1 + \gamma_2 a_2 + \dots + \gamma_n a_n}{100}, \quad (3.30)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$  – выход узких классов частиц глинистой взвеси в технологической воде, %;

$a_1, a_2, \dots, a_n$  – степень дисперсности каждого класса илистого глинистых частиц в технологической воде, где  $a_1 = 1/d_1$ ;

$d_1, d_2, \dots, d_n$  – средняя крупность частиц каждого класса.

$$a = -\mu h + b. \quad (3.31)$$

$$M = M_0 e^{Ah^a}. \quad (3.32)$$

Значение эмпирических коэффициентов, применительно к промывке глинистых песков изменяется на месторождениях Сибири и Дальнего Востока:  $A$  – от 0,08 до 0,9;  $B$  – от 0,8 до 2,3;  $b$  – от 0,2 до 0,5;  $\mu$  – 0,015 [52].

Функциональная связь между скоростью гравитационного выделения твердой фазы при промывке песков и концентрацией взвешенных частиц в технологической воде экспоненциальная [3]. Степень дисперсности накапливаемых тонких частиц в технологической воде зависит от вещественного состава глинистых цемента вмещающих песков и изменяется на объектах золотодобычи в широких пределах. Основной глинистый минерал частиц представлен гидрослюдой и монтмориллонитом. Удельная поверхность накапливаемых частиц в воде достигает до 10-21,7 м<sup>2</sup> на грамм дисперсной фазы.

Экспериментальными измерениями на капиллярном вискозиметре под давлением [56] выявлено, что наибольшее резкое увеличение вязкости и предельного напряжения сдвига начинается при крупности частиц менее 35-40 мкм (рис. 3.6).

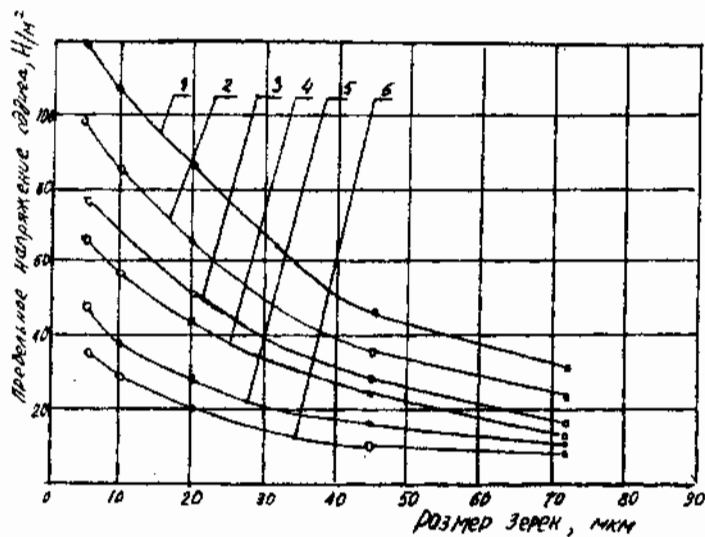
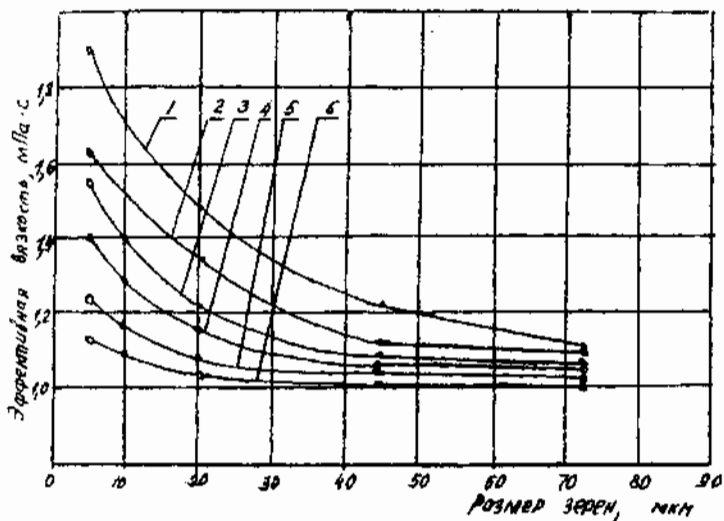


Рис. 3.6. Влияние крупности и содержания илесто-глинистых частиц в воде ( $\text{г/дм}^3$ ) на эффективную вязкость (а) и предельное напряжение сдвига (б):  
1 - 120; 2 - 100; 3 - 80; 4 - 60; 5 - 40; 6 - 20

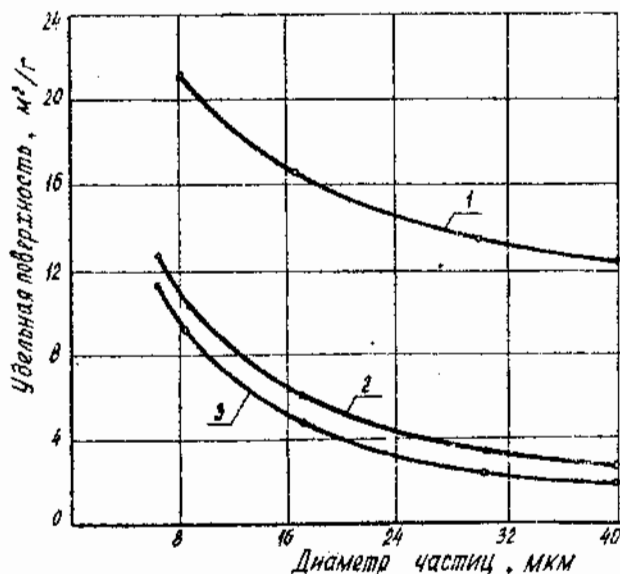
Полученные данные подтверждают ранее сделанный вывод [116] о характере изменения вязкости воды от крупности частиц. Они указывают на необходимость учета норм качества промывочных вод с учетом содержания частиц характерного класса крупности.

Характер изменения удельной поверхности твердой фазы промывочных вод ( $S_{уд}$ ) от среднего размера илесто-глинистых частиц ( $d$ ) подчиняется той же зависимости, которая характерна для полидисперсных систем при дроблении и измельчении [85]:

$$S_{уд} = k / (d\rho). \quad (3.33)$$

Коэффициент формы промывочных вод ( $k$ ), найденный по экспериментальным данным с использованием метода БЭТ составляет от 2 до 8,8. Наибольшее значение удельной поверхности для взвешенных частиц, в которых в качестве глинистых минералов преобладает монтмориллонит (рис. 3.7, а) Затем по значимости следует гидрослюда и каолинит.

а)



б)

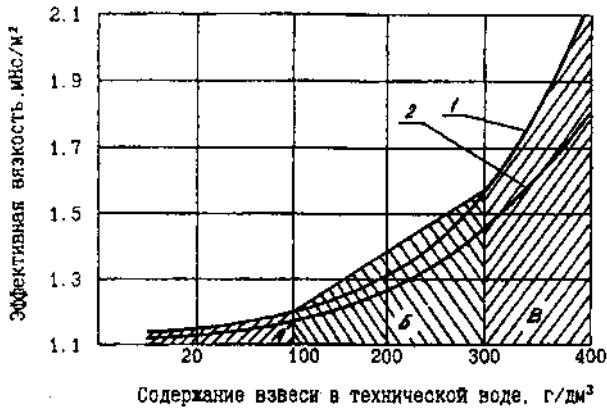


Рис. 3.7. Зависимость удельной поверхности твердой фазы промывочных вод от гранулометрического и минерального состава (а) и зависимость эффективной вязкости от содержания взвеси в технической воде (б):

1 — монтмориллонит; 2 — гидрослюда; 3 — каолинит

Анализируя экспериментальные и расчетные значения вязкости технологической воды по формуле Т.Г. Фоменко [116] на кривой, можно выделить три характерных участка (рис. 3.7, б). Участок А — прямолинейный, при содержании твердой фазы в воде до  $100 \text{ г/дм}^3$ , соответствующий разбавленным глинистым суспензиям. Участки Б и В относятся к переменным. На участке Б нелинейная зависимость обусловлена гидродинамическим взаимодействием между полидисперсными частицами, что приводит к появлению критической концентрации твердой фазы [85, 115]. Участок В соответствует высокоглинистым концентрированным суспензиям, где по П.А. Ребингеру наблюдается образование коагуляционных связей между частицами, т.е. структурообразование суспензии [122]. Причем численное значение вязкости тем больше, чем выше концентрация глинистых частиц в воде и чем меньше их крупность. Характер изменения реологических свойств глинистых суспензий проявляется тем резче, чем ниже температура воды.

Установлено, что характерным точкам пересечения прямых эффективной вязкости от содержания взвеси в технологической воде (рис. 3.8) соответствуют разные критические значения.

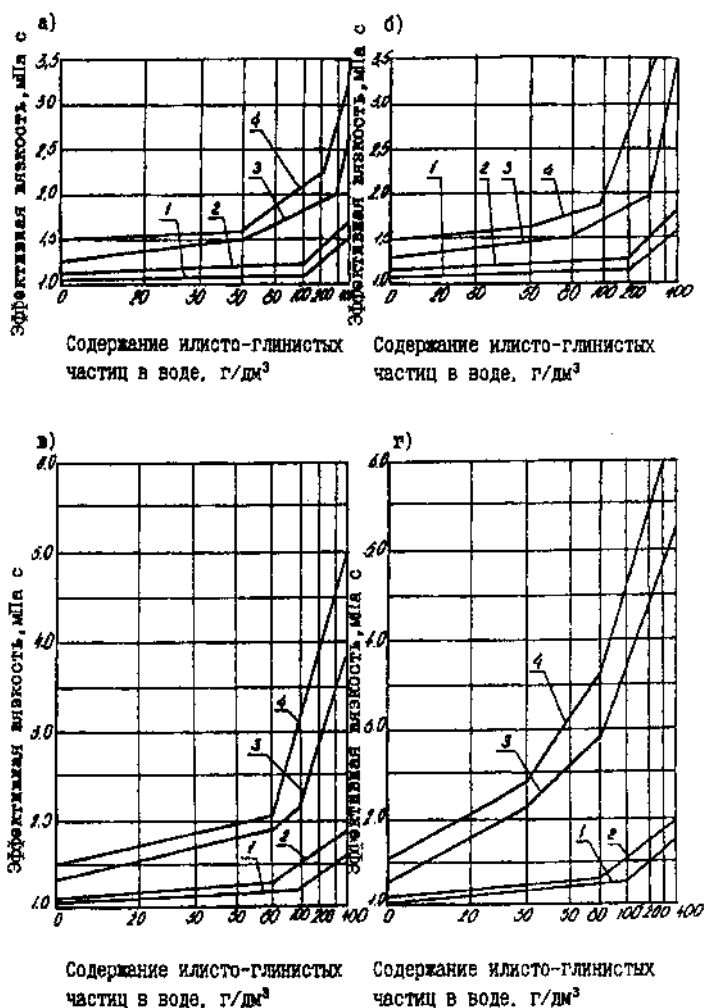


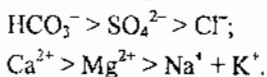
Рис. 3.8. Зависимость эффективной вязкости гидросмесей от содержания взвешенных частиц различной крупности (d) и температуры воды (T):

1, 2, 3, 4 – при T соответственно 20, 15, 10, 5 °C;  
а, б, в, г – при d соответственно <math>< 74, 45, 10, 5 \mu\text{m}</math>

Уменьшение крупности взвешенных частиц ( $< 10$  мкм) при одинаковой температуре воды ведет к снижению критического значения содержания дисперсной фазы до 30-50 г/дм<sup>3</sup>. На графиках четко прослеживается взаимосвязь угла наклона ломанных прямых от концентрации и крупности твердых примесей, особенно заметных при снижении температуры. Особенно можно заключить: чем резче проявляется снижение температуры гидросмеси и дисперсности частиц твердой фазы, тем больше они будут оказывать влияние на нормирование допустимого содержания взвеси в технологической воде.

Выявленные экспериментальные зависимости позволяют заключить, что оценка нормирования качества технологической воды, только по содержанию твердого в ней, не является научно обоснованной, т.к. не учитывает влияние минеральной и дисперсной характеристики твердой фазы взвешенных частиц и температуры дисперсной среды [52].

Физико-химические свойства технологической воды наряду с особенностями коллоидно-дисперсной фазы существенно зависят от рН дисперсной среды и соленакопления в ней катионов и анионов. По содержанию катионов и анионов в оборотной воде (табл. 3.1) их можно расположить в ряд:



Соленакопление стабилизируется после трех-, четырехкратного использования ее в обороте. При этом общая минерализация технологической воды не превышает 200 мг/л.

Химический состав водных вытяжек глин от кратности использования воды в обороте

Кратность использования технологической воды в обороте, число раз	рН	Щелочность	Жесткость общая	Сухой остаток, мг/л	Содержание ионов, мг/л					
		мг-экв/л	мг/л	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl	сумма	
0	7,26	0,80	0,80	84,0	12,0	2,4	13,0	21,6	4,2	40,2
1	7,25	0,20	1,50	88,8	20,0	6,1	—	21,6	23,2	70,9
2	7,24	0,50	1,50	92,1	22,0	6,9	2,5	24,5	16,6	72,5
3	7,21	0,60	1,80	97,2	24,1	7,3	—	25,0	16,6	73,0
4	7,1	0,60	1,80	98,0	24,1	7,3	—	26,4	16,6	74,0
5	7,12	0,70	1,9	103,9	30,0	7,3	—	27,3	11,8	74,4
6	7,04	0,70	2,0	100,5	28,0	7,3	—	27,3	11,8	74,4



### 3.2.2. Нормирование качества технологической воды при обогащении в гравитационных аппаратах

Разрабатываемые нормы качества технологической воды предназначаются для обоснования укрупненных норм водопотребления и водоотведения на  $1 \text{ м}^3$  промываемых песков при обогащении в гравитационных аппаратах на основе прогнозирования уровня извлечения ценного компонента при переходе на замкнутые системы водоснабжения с учетом особенностей вещественного состава эксплуатируемых месторождений и требований охраны водных ресурсов малых и больших рек.

Многократно используемая вода должна быть безвредна для здоровья при контакте обслуживающего персонала и не должна обладать отрицательными органолептическими свойствами. Она не должна оказывать отрицательное влияние на извлечение ценных компонентов в гравитационных аппаратах при оборотном водоснабжении транспортно-обогащительных комплексов.

#### *Методика нормирования качества.*

Для определения качества технологической воды предлагается использовать обобщающий физико-химический параметр – предельно допустимое содержание илесто-глинистой фракции в воде ( $M_d$ ) [52]:

$$M_d = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot M, \quad (3.34)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий форму зерен преобладающего класса золотин в россыпи, доли ед.;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий температуру воды в зоне разделения минералов, доли ед.;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий особенности фазово-дисперсной характеристики илесто-глинистых частиц характерного класса (35...40 мкм), доли ед.;

$M$  – экспериментально найденное предельное значение содержания илесто-глинистой фракции в технологической воде для гравитационных аппаратов, используемых в технологических схемах переработки металлоносных песков.

Значение  $M$  может быть определено из аналитического уравнения следующего вида [39]:

$$\lg \lg \frac{l}{l-\varepsilon} = a \lg M + b, \quad (3.35)$$

где  $\varepsilon$  – извлечение золота различной крупности на гравитационных аппаратах, %;

$M$  – содержание глинистых частиц в технологической воде, г/дм<sup>3</sup>;

$a, b$  – коэффициенты, численное значение которых существенно зависит от минералогической характеристики твердой фазы глинистых частиц, формы и крупности зерен ценного компонента.

На рис. 3.9 приведены результаты экспериментальных данных по определению  $M$  с учетом доверительной надежности 0,95 и коэффициенте Стьюдента 2,78.

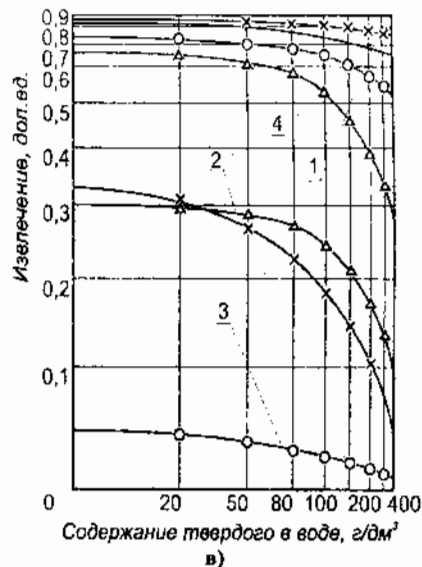
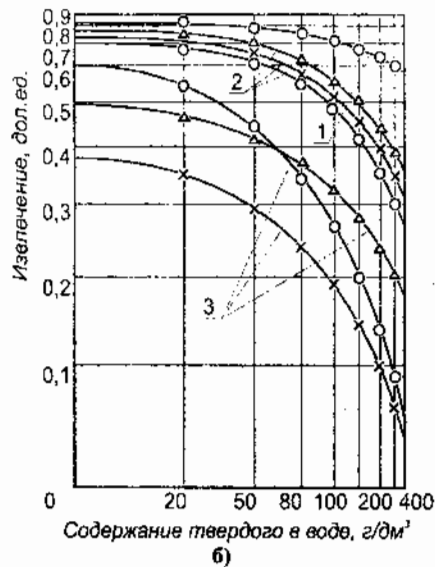
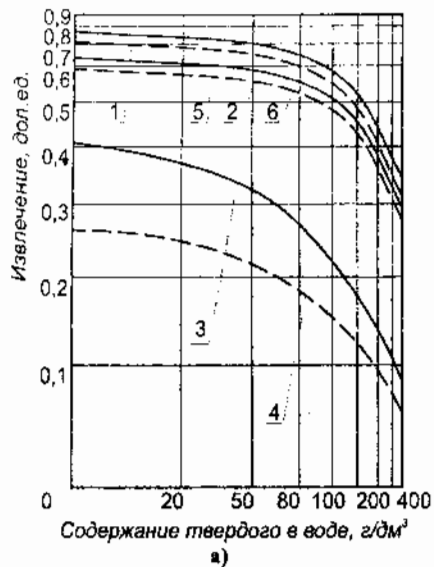
Используя империческую формулу А.Г. Лопатина [42], уточняется значение поправочного коэффициента  $K_1$  на форму золота конкретного месторождения, а также экспериментальные данные по скорости падения золотин в загрязненном потоке (рис. 3.10).

Значения коэффициента  $K_1$  с достаточным приближением для практики при учете особенностей падения золотин плоской формы по отношению к зернам округлой формы может быть принято в пределах 0,7-0,84 [115].

Значение коэффициента  $K_2$ , найденное по уравнению квазистационарного равновесия под действием сил тяжести и диффузионного перемешивания [52], при понижении температуры технологической воды с 20 °С до 5 °С изменяется в диапазоне 1,0...0,83. Значение коэффициента в диапазоне указанного температурного интервала находится интерполированным.

Значения коэффициента  $K_3$  определяется, исходя из концентрации взвешенных примесей и средней степени дисперсности частиц ( $a$ ) в технологической воде.

Численное значение узких классов илито-глинистых частиц определяется по известным методикам [116].



**Рис. 3.9.** Зависимости извлечения золота различной крупности ( $d$ , мкм) от содержания и дисперсности ( $a$ ) взвешенных веществ в технологической воде, где:

$a$ ) - шлюз;  $x$  - отсадка;  $o$  - винтовой сепаратор;  $\Delta$  - концентрация на столе; при  $d$ , мкм:

1 --  $-500+250$ ; 2 --  $-250+150$ ; 3 --  $-150+74$ ; 4 --  $-1000+500$ , при  $a$  соответственно: 1, 2, 3, 4 < 74 мкм, 5, 6 < 45 мкм

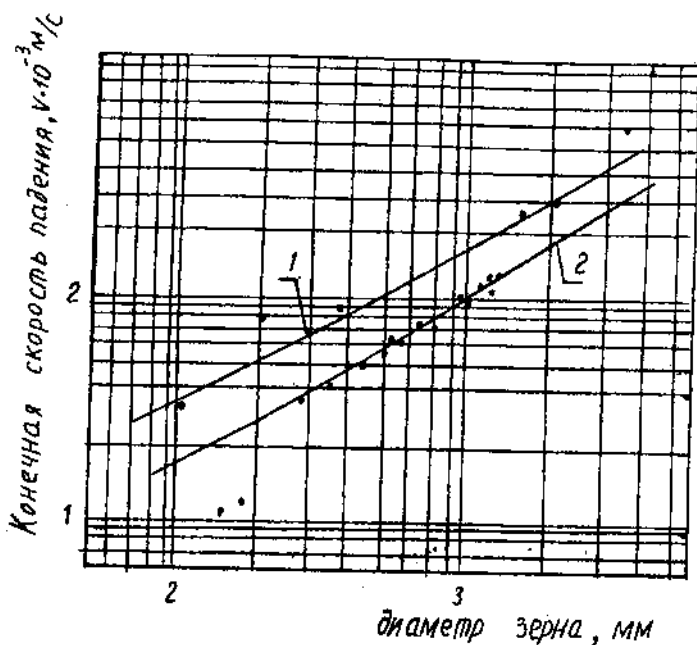


Рис. 3.10. Зависимость конечной скорости свободного падения золотин от их диаметра:

1 — округлая форма; 2 — плоская форма

Рекомендуемое значение  $K_3$  в зависимости от содержания твердой фазы  $M$  приведено в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3 . 2

Значение коэффициента  $K_3$

Содержание твердого в технологической воде, г/дм <sup>3</sup>	Средняя степень дисперсности илесто-глинистых частиц	Значение коэффициента $K_3$
40...80	0.29...0.4	0.99
100	0.45	0.98
120	0.53	0.95
160	0.58	0.92
180	0.60	0.91
200	0.62	0.90

Влияние содержания твердого в технологической воде на потери золота с галей ( $P_z$ ) можно оценить, пользуясь эмпирическим уравнением [50]

$$P_z = 5.51 + 8.14 \lg 0,06M, \quad (3.36)$$

полученным на основе корреляционного анализа данных технологического опробования отвальных продуктов обогащения транспортно-обогатительных комплексов.

Разработанная методика позволяет обосновать качество технологической воды с учетом сепарационных характеристик обогатительных аппаратов и особенностей вещественного состава россыпных месторождений. В табл. 3.3 представлены предельно допустимые значения, полученные по этой методике в ЧитГУ, и дана сравнительная оценка по отношению к данным ОАО «Иргиредмет» применительно к шлюзовым аппаратам.

Т а б л и ц а 3.3

**Предельные значения  $M_0$  при разделении золотин различной крупности в гравитационных аппаратах**

Тип гравитационных аппаратов	Класс крупности зерен, мм	Предельное значение $M_0$ , г/дм <sup>3</sup>	Примечание
Шлюзы	-0,5+0,25	80-100	$M_0 < 125$ г/дм <sup>3</sup> (по данным Иргиредмета 80 г/дм <sup>3</sup> )
	-0,5+0,15	50-80	
Отсадочные машины	-0,5+0,25	80-100	
	-0,25+0,15	30-50	
Винтовые сепараторы	-0,5+0,25	60-80	
	-0,25+0,15	40-60	
Концентрационные столы	-0,5+0,25	80-100	
	-0,25+0,15	40-60	

### 3.3. Оборудование для обогащения песков в струе воды, текущей по наклонной плоскости

#### 3.3.1. Обогащение на шлюзах

Шлюз относится к числу простейших обогатительных аппаратов, которые эффективно работают на песках с низким содержанием металла при широком диапазоне крупности. Шлюз позволяет получить высокую степень концентрации по сравнению с другими гравитационными аппаратами. Для эффективного обогащения на шлюзах необходимо иметь существенную разность плотностей полезных минералов и минералов пустой породы. Отношение  $(\delta_7 - 1)/(\delta_8 - 1)$  должно превышать численную величину 3,5.

Шлюз представляет собой слабонаклонный желоб прямоугольного сечения с параллельными бортами. Дно шлюза покрывают шероховатым улавливающим покрытием в виде резиновых ячеистых ковров, поверх которого укладываются трафареты – поперечные брусья, панцирные сетки с крупными отверстиями или металлические планки. Такая армировка шлюза обеспечивает образование на дне шлюза минеральной постели.

Пульпу при определенном отношении Т:Ж подают в головную часть шлюза. При движении пульпы происходит расслаивание зерен по плотности и крупности. При этом зерна тяжелых минералов концентрируются в нижних слоях между планками трафарета, а легкие зерна сносятся потоком со шлюза. Минеральная постель на шлюзе в начале процесса по своему составу мало отличается от состава исходных песков. Пористость постели в первоначальном состоянии составляет около 40 % и тяжелые зерна минералов проникают внутрь постели. Турбулентный характер потока в придонных слоях обеспечивает разрыхление минеральной постели и вынос легких зерен в верхние слои потока. По мере заполнения постели тяжелыми зернами пористость ее снижается. Максимально заполненная тяжелыми зернами постель имеет пористость 15 %. Чрезмерное уплотнение постели приво-

дит к снижению турбулентности потока, постель не разрыхляется, и процесс обогащения практически прекращается. Подачу материала на шлюз прекращают и производят съём осевшего концентрата (сполоск шлюзов). Выход концентрата со шлюзов составляет десятые и сотые доли процента. В зависимости от конструкции шлюза сполоск может быть ручным со снятием трафаретов и улавливающего покрытия или механизированным. Ручной сполоск отличается значительной трудоемкостью и длительностью. Поэтому стремятся максимально механизировать этот процесс или использовать конструкции шлюзов с непрерывным выводом концентрата.

### *Разновидности шлюзов и их устройство*

Существующие конструкции шлюзов можно разделить на стационарные и подвижные [63].

*Стационарные шлюзы* широко применяют на гидравлических установках, драгах и промывочных приборах. Выделяют шлюзы глубокого наполнения для обогащения крупного материала (до 100...130 мм), шлюзы мелкого наполнения для обогащения расклассифицированных песков крупностью до 20 мм.

*Подвижные механизированные шлюзы* (металлические и поворотные с подвижным резиновым покрытием) применяют в основном на драгах. Особенность этих шлюзов – возможность сполоска концентрата без снятия улавливающего покрытия путем поворота шлюзов и смыва напорной водой с минимальными затратами времени и труда [82].

На гидравлических установках (гидравликах) применяют шлюзы глубокого наполнения (собственно шлюзы) и мелкого наполнения (подшлюзки).

*Шлюзы глубокого наполнения* имеют прямоугольное сечение (500×500...1500×1270 мм), рассчитанное на большой объем пульпы с крупностью валунов до 300...500 мм. Общая длина шлюзов 30...48 м. Изготавливают шлюзы звеньями по 6 м длиной. Шлюзы укладывают на грунт или эстакады. Шлюзы, уложенные на грунт, имеют уклон

0,03...0,08 (в среднем 0,05). Установка шлюзов на эстакаде переменным уклоном 0,01...0,04 (с меньшим – в головной части, с большим – в конце) лимитируется рельефом местности и условиями размещения хвостов.

Для дополнительного улавливания мелкого золота применяют подшлюзки, устанавливаемые с уклоном 0,08...0,12, длиной 6...12 м. Подшлюзки изготовляют секционными с шириной секции 0,7...0,8 м. Обычно общая ширина подшлюзков в 4...10 раз больше ширины основного шлюза. На подшлюзки поступает материал крупностью меньше 12 (16) мм, прошедший через неподвижное решето, установленное в хвостовой части шлюза глубокого наполнения. Разжижение (Ж:Т) на гидравлическом шлюзе глубокого наполнения поддерживается в пределах 20...30. Поверхностная скорость потока 1,5...2 м/с. Удельная производительность на 1 м<sup>2</sup> площади шлюзов должна быть не больше 1...1,2 м/ч, оптимальная – 0,6...0,8 м/ч [78].

Сполоск гидравлических шлюзов на длину 6...12 м проводят через 3...5 дней, подшлюзков – один раз в смену. Генеральный (полный) сполоск проводят через 15...20 дней. Извлечение золота на гидравлических шлюзах не превышает 85 %.

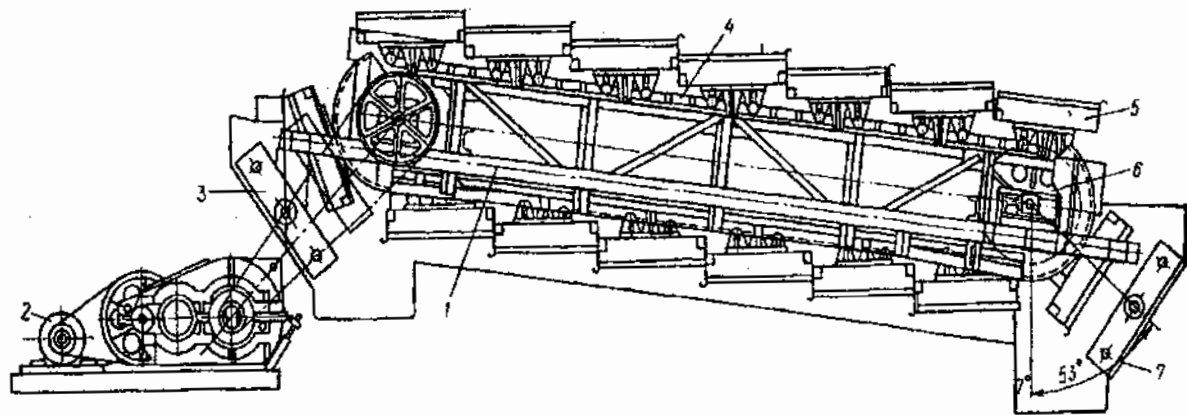
Дражные шлюзы подразделяют на поперечные и продольные. Поперечные шлюзы устанавливают на драгах малой мощности одноярусные и двухсторонние, на драгах средней и большой мощности – двухъярусные и двухсторонние. Общая площадь шлюзов на драге с ковшами вместимостью 210 л составляет до 400 м<sup>2</sup>, 380 л – до 1200 м<sup>2</sup>. Уклон поперечных шлюзов 6...8°. Расстояние между ярусами у двухъярусных шлюзов составляет 1,8 м. На современных драгах вместо двухъярусных шлюзов применяют двухдечные шлюзы с расстоянием между деками 200 мм. При сполоске верхняя дека поднимается при помощи блока. Недостаток таких шлюзов – трудность наблюдения за работой нижней деки. Продольные шлюзы предназначены для дополнительного извлечения полезных ископаемых из хвостов поперечных шлюзов. Уклон продольных шлюзов 5...6°. Продольные шлюзы оканчиваются эфельными колодами, предназначенными для удаления эфе-



лей за корму драги. Разжижение (Ж:Т) на дражных шлюзах колеблется от 8 до 12, поверхностная скорость пульпы составляет 1,2...1,5 м/с. Сполоск с поперечных шлюзов проводят ежедневно, с продольных – 1 раз в сутки. Один раз в десять дней проводят генеральный сполоск всех шлюзов с зачисткой карманов. Золото в основном (на 95 %) улавливается поперечными шлюзами, а продольные шлюзы доизвлекают золото 2...3 %. Извлечение мелкого золота крупностью -0,25 мм невысокое.

*Подвижные механизированные шлюзы.* На драгах различной мощности в настоящее время работает несколько типов механизированных шлюзов: металлические ШМС (шлюз металлический секционный), ШПРП (шлюз подвижной с резиновым покрытием), переносные и поворачивающиеся. Применение шлюзов ШМС и ШПРП исключает ручной труд при сполоске, позволяет проводить его чаще, дает возможность автоматизировать процесс и проводить сполоск по запланированной программе. Все это повышает эффективность работы шлюзов. Металлический подвижной шлюз ШМС (рис. 3.11) представляет собой шлюзовую конвейер с механическим приводом. Привод ведущего вала осуществляет продвижение шлюзов в период сполоска. Армировка шлюза аналогична стационарному шлюзу. Сполоск концентрата проводят напорной водой из оросительной трубы при огибании звездочки шлюзовым конвейером. Для сбора концентрата под конвейером установлен лоток и сборный бункер, откуда концентрат направляется на доводочную установку.

В процессе эксплуатации подвижные металлические шлюзы при трехразовом сполоске шлюзов в сутки позволяют повысить извлечение золота на 5 % по сравнению со стационарными шлюзами, имеющими в 3 раза большую площадь улавливания. Недостаток подвижных металлических шлюзов – большая металлоемкость конструкции и невозможность размещения их в два яруса на драгах.



**Рис. 3.11. Металлический подвижной шлюз [121];**  
 1 – несущая рама; 2 – привод шлюза; 3 – ороситель; 4 – бесконечная цепь;  
 5 – шлюзовой желоб; 6 – приводная звездочка; 7 – устройство для смыва концентрата

Шлюз с подвижным резиновым покрытием ШПРП (рис. 3.12) представляет собой бесконечную коробчатую резиновую ленту, выполненную заодно с бортами и улавливающим покрытием и натянутую на два барабана, закрепленных на раме. Улавливающее покрытие выполнено в виде ячеек размером 5 x 12 мм и порогов между ними. Высота порогов 50..60 мм. Ширина ленты 0,8 м, высота бортов 0,2 м, длина ленты 3...4 м. При сполоске концентрата со шлюза лента движется со скоростью 0,8 м/мин навстречу потоку. При огибании верхнего барабана лента орошается водой, концентрат смывается и по лотку поступает на доводку.

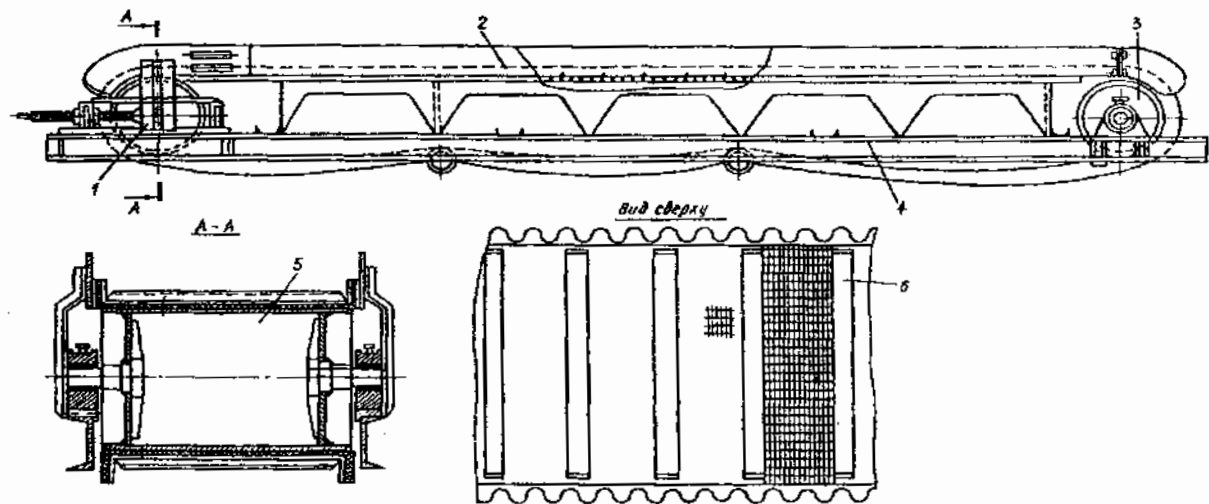
По имеющимся данным, технологические показатели работы механизированных металлических и резиновых шлюзов разнятся незначительно [19, 20, 82]. Недостатки шлюзов с подвижным резиновым покрытием – высокая (почти в 2 раза) стоимость изготовления по сравнению с металлическими подвижными шлюзами; сложность замены резиновой ленты при обрыве; неполный смыв концентрата при сполоске, особенно при работе на труднопромывистых песках.

Сравнительные данные о работе шлюзов различной конструкции на однотипных драгах приведены в табл. 3.4.

Т а б л и ц а 3 . 4

Сравнительные данные о работе шлюзов различной конструкции на однотипных драгах

Шлюзы	Удельная производительность (средняя), м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	Режим сполоска шлюзов	Среднее извлечение золота, %	Распределение (%) извлеченного золота при крупности, мм	
				+0,25	-0,25
Стационарные	0,5-0,6	1 раз в сутки	90,4-93	97-98	2-3
Металлические подвижные	1,5-1,7	2-3 раза в сутки	92,8-95,9	92-96	4-8
С подвижным резиновым покрытием	1-3	То же	93,5-98,6	97-98	2-3



**Рис. 3.12. Шлюз с подвижным резиновым покрытием [121]:**  
 1 – натяжная станция; 2 – лоток; 3 – приводной барабан; 4 – несущая рама;  
 5 – натяжной барабан; 6 – лента с бортиками

Переносные шлюзы выполняют в виде отдельных желобов со стандартным покрытием. Для сполоска со шлюзов сконцентрированной минеральной фракции они транспортируются на специальный поворотный стол. Осуществляют закрепление шлюза на столе, а затем поворачивают вокруг продольной оси на  $180^\circ$  и производят смыв водой из оросительной системы. В процессе смыва концентрат поступает по желобу в бункер, откуда направляется на доводку. После разгрузки продуктов шлюзы снимают с поворотного стола и транспортируют на первоначальное место установки.

Поворачивающиеся шлюзы представляют конструкцию, состоящую из двух желобов, симметрично расположенных относительно плоскости общего днища. Шлюзы при сполоске поворачиваются относительно длинной оси. Шлюз опрокидывается и концентрат с него смывается, а его место занимает шлюз с чистой улавливающей поверхностью. Поворачивающиеся шлюзы применяют на драгах в качестве доводочных.

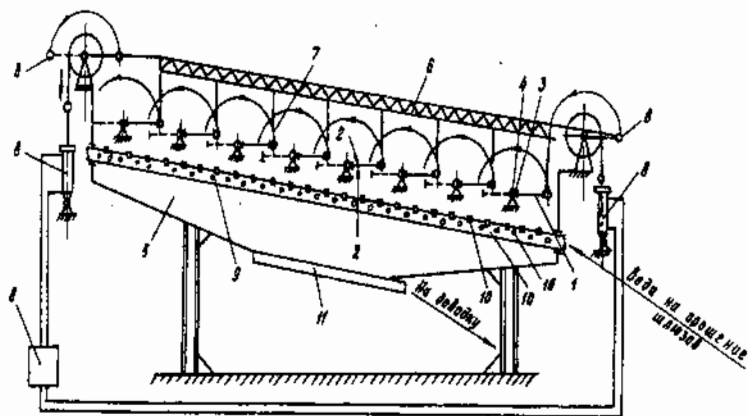
Поворачивающиеся (опрокидные) шлюзы выпускают двух модификаций (ШОМ-3,5 и ШОМ-5), которые в основном отличаются габаритными размерами.

Извлечение в концентрат тяжелой фракции песков на шлюзах зависит от физических свойств минеральных частиц (плотности, крупности и формы), параметров потока, длины шлюза, характеристик трафаретов, условия формирования постели и времени работы, частоты сполоска. Важно отметить, что частота сполоска – удаление (смыв) тяжелых минералов с улавливающей поверхности шлюзов через определенный период времени в значительной степени предопределяет полноту перевода ценного компонента в продуктивную фракцию. Однако этому фактору на практике не уделяется должного внимания по причине трудоемкости процесса, а также значительного времени, требуемого для проведения ручного сполоска. Именно по этой причине сполоск концентрата со стационарных шлюзов, драг и промприборов производится, как правило, один раз в сутки. При этом

потери мелкого золота со шлюзов достигают при промывки глинистых песков до 50 %.

Для устранения недостатков гравитационного извлечения ценного компонента на шлюзах назрела острая необходимость перейти в ближайшее время (с учетом уровня развития науки и техники) к созданию ресурсосберегающих малоотходных технологий на основе реализации концепции по непрерывному выводу концентратов из транспортирующего массопотока.

Концепция непрерывного и учащенного вывода концентрата реализована в новых технических решениях институтов Иргиредмет и ЧитГУ. Особенность запатентованных поворотных механических шлюзов, разработанных в ЧитГУ [129, 130], заключается в том, что в них реализован способ учащенного вывода продуктивной фракции с улавливающих покрытий (рис. 3.13). Причем реализация способа вывода концентрата осуществлена через специально разработанную систему поворота шлюзов.



**Рис. 3.13. Продольный разрез дражных шлюзов с поворотным устройством:**  
 1 - шлюзовые лотки; 2 - улавливающее покрытие; 3 - шарниры; 4 - продольная ось; 5 - поддон-сборник; 6 - тяговая балка; 7 - шарнирные тяги;  
 8 - гидромеханический привод; 9 - водооросительная труба; 10 - конические насадки; 11 - шнековый питатель

Техническая разработка включает шлюзовые лотки 1, имеющие двухстороннее улавливающее покрытие 2. Лотки закреплены с помощью шарниров 3 через продольную ось 4 на поддоне-сборнике концентрата 5 для поворота их на  $180^\circ$ . Роль несущей металлоконструкции выполняет поддон-сборник концентрата. Механизм поворота шлюзовых лотков предназначен для передачи возвратно-поступательного движения лоткам 1 с целью их поворота освеженной улавливающей поверхностью на  $180^\circ$ . Он состоит из тяговой балки 6 с гибкими шарнирными тягами 7 и гидромеханическим приводом 8. Для смыва концентрата с лотков используется оросительная система, состоящая из водооросительной трубы 9 с рядом конических насадок 10. Оросительная система установлена в поддоне-сборнике концентрата 5. В нижней части поддона 5 установлен шнековый питатель 11. Шлюзы с поворотным устройством работают следующим образом. Для сполоска концентрата с улавливающих покрытий 2 шлюзовых лотков включается механизм поворота лотков. Гидромеханический привод 8 передает возвратно-поступательное движение по окружности тяговой балки 6, прикрепленной к шлюзовым лоткам гибкими шарнирными тягами 7. Шлюзовые лотки переворачиваются одновременно на  $180^\circ$ , располагаясь освеженной улавливающей поверхностью вверх. Для смыва концентрата с нижней поверхности улавливающего покрытия 2 шлюзовых лотков 1 подается под напором вода из водооросительной трубы 9 через насадки 10. Собранный концентрат в поддоне-сборнике концентрата 5 обезвоживается и шнековым питателем 11 направляется на доводку.

Поставленная цель – повышение надежности системы и уровня извлечения золота в предложенной разработке достигается тем, что шлюзовые лотки устанавливаются в два яруса с днищами и оснащаются приспособлением с приводом для их перемещения. Причем шлюзовые лотки обоих ярусов попарно соединяются между собой днищами, а приспособление для перемещения лотков создает воз-

вражно-поступательное движение лотков и тяг, обеспечивающих поворот на 180°.

На рис. 3.14 показано распределение эфельного материала по лоткам верхнего 1 и нижнего яруса 2. Подрешетный продукт барабанного грохота через отсекатель 3 боочечного распределителя 4 поступает одновременно на шлюзовые лотки верхнего яруса 1 и нижнего яруса 2.

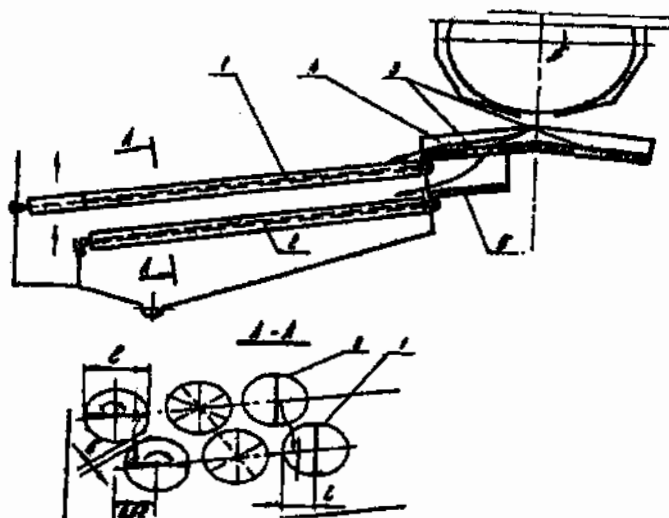


Рис. 3.14. Схема распределения массопотоков в ярусах и поворота лотков

Легкие минеральные фракции в виде гидросмеси поступают на хвостовые колоды, установленные перпендикулярно шлюзовым лоткам и в дальнейшем за счет самотечной разгрузки поступают в отвал.

Причем одновременное поступление материала на лотки нижнего яруса обеспечивается за счет установки отсекателей 3 и нижней ячейки 5 в подбоочечном распределителе 4. Необходимость беспрепятственного сполоска шлюзового концентрата с верхнего яруса непосредственно в поддон-сборник требует одновременного поворота лотков и их сдвига по ярусам на половину ширины лотков 1. Проме-



жуток, образованный днищами шлюзовых лотков при повороте на 90°, обеспечивает самотечную разгрузку концентрата и выбирается исходя из удельной производительности площади шлюзовых лотков верхнего яруса и количества транспортируемого концентрата. Для предотвращения взаимного пересечения плоскостей вращения шлюзовых лотков между ними создан специальный зазор  $\delta$ .

Разработанная конструкция двухъярусных механических поворотных шлюзов, впервые внедренная на 210 л. драге № 90 Соловьевского прииска ВПО «Амурзолото» [50], позволила за счет учащенного сполоска концентрата и повышения технологической надежности угла поворота шлюзов увеличить извлечение золота на 7,5...10 %.

Сравнительные промышленные испытания предложенных и используемых на драгах стационарных шлюзов показали, что с использованием ШПУ извлечение ценного компонента повысилось на 5,6...6,2 % при содержании золота в исходных песках 230..290 мг/м<sup>3</sup>. Производительность драги, по сравнению с базовым вариантом (стационарные шлюзы), увеличилась на 9,6...14 %. Выход тяжелой фракции минеральной продукции увеличен в 8...10 раз.

Реально полученный экономический эффект от внедрения разработки на драге № 90 только за счет снижения технологических потерь золота составил 226 тыс. р. (в ценах 1986 г.). Разработанная техническая документация была передана для дальнейшего расширения объемов внедрения на драгах и модульных установках (табл. П.3.1).

Созданная система учащенного сполоска концентрата со шлюзов (ШПУ) позволила (на основе укрупненной оценки по всем объектам внедрения):

- повысить извлечение золота до 10 %;
- увеличить выход тяжелых металлов (шлиховой фракции) в 8...10 раз;
- уменьшить количество обслуживающего персонала при снятии и доводке золотосодержащего концентрата на 50 %.

Суммарный экономический эффект от внедрения разработки на объектах металлодобычи складывается за счет следующих составляющих:

- повышения производительности транспортно-обогажительного комплекса;
- снижения технологических потерь ценного компонента;
- увеличения выхода тяжелой шлиховой фракции, используемой с целью дальнейшего попутного извлечения ценных компонентов.

**Расчет шлюзов.** Гидравлические характеристики потока и состояние улавливающего покрытия являются главными технологическими и конструктивными параметрами, влияющими на работу шлюзов. Поэтому при расчете шлюзов прежде всего определяют разжижение пульпы, которое выбирается в зависимости от размера максимальных кусков обрабатываемого материала (табл. П.3.2).

На шлюзах целесообразно поддерживать повышенную скорость потока и повышенное разжижение пульпы по сравнению с критическим. При критических скоростях и разжижениях на шлюзе начинают образовываться валики (волны) из минеральных зерен, что приводит к забиванию трафаретов и шлюзов, то есть постель перестает улавливать минералы. Для обеспечения необходимого разжижения на шлюзах рекомендуется дополнительно подавать технологическую воду. Последнее весьма характерно для дражных шлюзов.

Наполнение шлюза (глубину потока)  $h$  определяют в зависимости от крупности обогащаемого материала:

$$h = ad, \quad (3.37)$$

где  $a$  – коэффициент глубины потока (табл. П.3.2);

$d$  – максимальный размер куска, мм.

Чрезмерное наполнение шлюзов при одинаковой скорости потока приводит к уменьшению разрыхления и заиливанию постели, а также к увеличению пути перемещения зерен из верхних слоев в нижние. Поэтому высокие наполнения потоков нежелательны. Величина наполнения регулируется производительностью и уклоном шлюза.

Скорость движения жидкости в желобе зависит от уклона желоба, его гидравлического радиуса и состояния шероховатости стенок и дна.

По формуле Шези

$$v = c\sqrt{Ri}, \quad (3.38)$$

где  $v$  – средняя скорость турбулентного движения жидкости в желобе, м/с;

$c$  – коэффициент, учитывающий состояние стенок и дна, определяемый по формуле

$$c = \frac{100}{1 + m/\sqrt{R}}, \quad (3.39)$$

где  $m$  – коэффициент шероховатости;

$R$  – гидравлический радиус, м;

$i$  – уклон желоба, равный  $\sin \alpha$ .

$$R = \frac{HB_0}{2H + B_0}, \quad (3.40)$$

где  $H$  – рабочая высота шлюза, м;

$B_0$  – рабочая ширина одной секции, м.

Следует отметить, что коэффициент шероховатости увеличивается с уменьшением наполнения шлюза.

Минимальное отношение Ж:Т для различных уклонов шлюза характеризуется следующими данными:

Уклон шлюза	0,05	0,08	0,11	0,15
Минимально возможное, Ж:Т	15,5	9,4	6,5	4,5

Ширина шлюзов  $B$  (м) определяется заданной объемной производительностью, скоростью потока и наполнения шлюза:

$$B = \frac{Q}{v h}, \quad (3.41)$$

где  $Q$  – расход пульпы, м<sup>3</sup>/с;

$v$  – скорость потока, м/с;

$h$  – наполнение шлюза (глубина потока), м.

Объемная производительность определяется с учетом выбранного минимально необходимого разжижения ( $\kappa$ ) по формуле

$$Q = \frac{Q_T}{\rho_T} (1 + \kappa), \quad (3.42)$$

где  $Q_T$  – производительность шлюза по твердому, т/с;

$\rho_T$  – плотность твердого, т/м<sup>3</sup>;

$\kappa$  – разжижение Ж : Т.

Ширина одной секции стандартного шлюза составляет 0,7... 1,25 м.

Если расчетная ширина больше этих величин, то устанавливают несколько параллельно работающих шлюзов.

Эффективность работы шлюзов определяется удельной нагрузкой по твердому в расчете на 1 м ширины шлюза или на 1 м<sup>2</sup> улавливающей площади.

Удельную производительность шлюзов  $q_0$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) на 1 м<sup>2</sup> улавливающей площади шлюза определяют по формуле

$$q_0 = Q_T / F, \quad (3.43)$$

где  $Q_T$  – производительность шлюза по твердому, м<sup>3</sup>/ч;

$F$  – площадь шлюза, м<sup>2</sup>.

Оптимальная удельная нагрузка зависит от крупности обогащаемого материала, а также от содержания металла и тяжелых минералов в песках.

Оптимальная удельная нагрузка шлюзов:

– для дражных шлюзов 0,4...1,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч);

– для шлюзов глубокого наполнения 0,6...0,8 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч);

– для шлюзов, работающих на мелком материале и с мягким улавливающим покрытием, составляет 0,1...0,3 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

*Частота сполоска концентрата.* Уровень извлечения ценного компонента на шлюзах в значительной степени зависит от съема концентрата с улавливающей постели и частоты. Частота съема концентрата в первую очередь определяется содержанием ценного компонента в исходном сырье и процентным выходом тяжелой минеральной

фракции, кроме того, она также существенно зависит от объема постели между трафаретами. Для каждого конкретного случая частоту сполоска концентрата при промывке металлоносных песков на месторождении устанавливают экспериментально. Практика показывает, что на стационарных шлюзах более высокие показатели по эффективности обогащения получаются при их раздельном сполоске: головную часть шлюзов (головку) длиной 3...6 м рекомендуют снимать через 4...8 ч, а другую часть шлюзов – через 8...24 ч. Длительная работа шлюза без съема сконцентрированной тяжелой фракции приводит к засорению постели и как следствие к снижению технологических показателей по извлечению ценного компонента. Поэтому требуется реализовать принцип непрерывной разгрузки концентрата, однако при этом получается слишком бедный продукт, что ведет к удорожанию его доводки.

В настоящее время разработаны конструкции шлюзов с непрерывной разгрузкой концентрата [19], однако из-за конструктивных недостатков они не получили широкого применения.

### **3.3.2. Обогащение на концентрационных столах**

Концентрационные столы широко применяют при обогащении золотосодержащих россыпей при крупности песков 4...0,04 мм. Особенность обогащения песков на концентрационном столе заключается в необходимости создания на наклонной плоской поверхности (деке) тонкого потока воды.

Концентрационный стол состоит из опорной неподвижной рамы, плоской деки различной формы, приводного механизма деки для обеспечения асимметричного возвратно-поступательного движения в ее горизонтальной плоскости. Дека стола устанавливается на шарнирных опорах, и с помощью механического устройства возможна регулировка ее поперечного и продольного наклона. Деки изготовляют из дерева или алюминиевого сплава, покрытие из линолеума или резины,

а также других материалов, например стеклопластика. Вдоль деки крепят узкие рейки (рифли) высотой 6...12 мм. Причем в верхней части стола планки имеют наименьшую высоту, по мере приближения к нижней части стола высота планок увеличивается.

В продольном направлении высота планок также изменяется. Вдоль длинной верхней стороны деки укреплены загрузочная коробка и распределительный желоб для воды. Во время работы стола вода равномерным потоком течет по всей поверхности деки.

Концентрация на столе происходит следующим образом: минеральные зерна под действием потока воды перемещаются по наклонной деке стола в поперечном направлении, в то же время зерна имеют продольное перемещение, обусловленное возвратно-поступательными движениями деки.

Под влиянием колебаний деки стола в желобках, образованных на рифлениях, происходит расслоение материала. Тяжелые зерна оказываются внизу, а легкие наверху. Асимметричность возвратно-поступательных движений деки (более быстрый ход деки назад) приводит к появлению значительных инерционных сил, превращающих силы трения зерен о поверхность стола, и к движению их вдоль деки. Движение зерен, различающихся плотностью и размерами, оказывается неодинаковым. На тяжелые зерна большое внимание оказывают инерционные составляющие вектора скорости, а на крупные зерна – гидродинамическое давление смывного потока воды. В плотных слоях потока происходит сегрегация – просеивание мелких тяжелых частиц в промежутках между крупными. В результате их на столе образуется веер из зерен разной плотности и размера (рис. 3.15), которые могут направляться в отдельные приемники.

Переменными факторами являются форма нарифлений и их высота. Подбор вышеуказанных факторов осуществляют в зависимости от крупности обрабатываемого материала.

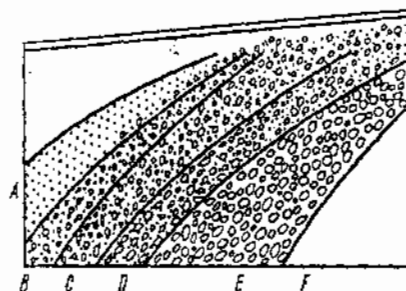
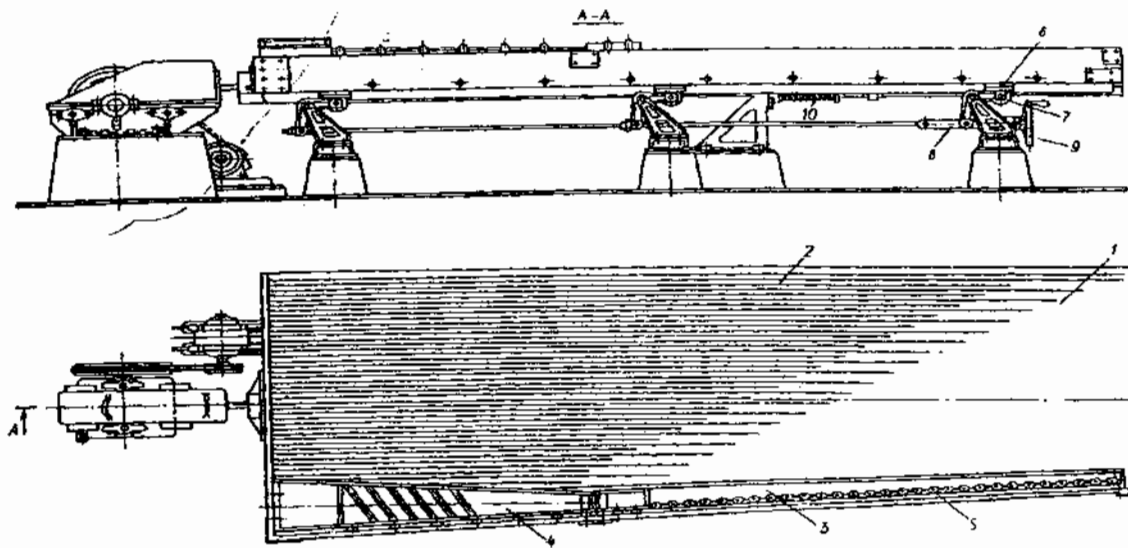


Рис. 3.15. Веерообразное расположение зерен на деке стола:  
*A* – концентрат; *B* – промпродукт I; *C* – промпродукт II; *D* – хвосты I;  
*E* – тяжелые хвосты; *F* – шламы

Нарифления шламовых столов для переработки материала крупностью мельче 0,3...0,2 мм делаются меньшей высоты и они располагаются на большем расстоянии одно от другого. Соотношение длины ( $L$ ) к ширине ( $B$ ) деки для песковых и шламовых столов зависит от крупности обогащаемого материала.

**Конструкции концентрационных столов.** Концентрационные столы непрерывного действия широко применяют при обогащении мелкозернистого материала. Крупность исходного материала не превышает 3...4 мм. Разработаны различные типы многодечных и многоярусных столов (табл. 3.5). Технические характеристики наиболее распространенных концентрационных столов представлены в табл. П.3.3. Основные элементы концентрационного стола представлены на рис. 3.16. Существенные преимущества перед столами других конструкций имеют столы марки СКО-3,5 (рис. 3.17), позволяющие получать более высокие показатели для извлечения золота размером 400 меш и менее. Повышение извлечения тонкого и мелкого золота достигает 20...22 %. Их преимущество достигается за счет того, что на столе обеспечивается многократный перемыв разделяемых продуктов в однооперационном процессе. Техническая характеристика СКО-3,5 приведена в табл. П.3.4.



**Рис. 3.16. Основные элементы концентрационного стола:**

1 – дека; 2 – нарифление; 3 – желоб для воды; 4 – желоб для пульты; 5 – планки для регулирования подачи; 6 – опора;  
7 – ролик; 8 – винт кренового механизма; 9 – маховичок кренового механизма; 10 – натяжное устройство



Классификация отечественных концентрационных столов [104, 121]

Тип и число дек	Способ установки стола	Характер движения дек	Тип приводного механизма	Назначение	Марка
Однодечные с трапециoidalными или диагональными деками	На опорах снизу	Возвратно-поступательное в плоскости деки	Кулачково-рычажный или инерционный	Обогащение песков и шламов	СКМ-1
Многодечные с диагональными деками	На подвесках	Возвратно-поступательное в плоскости деки	Инерционный	Обогащение песков и шламов	СКО-15; СК-22;
Многодечные с малогабаритными прямоугольными деками	То же	То же	То же	То же	СКП-20
Трехъярусные с прямоугольными деками	На опорах снизу	То же	Кулачково-рычажный	Обогащение песков	ЯСК-1

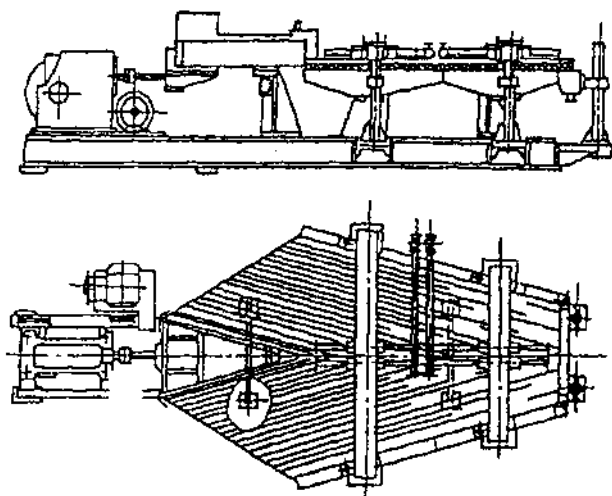
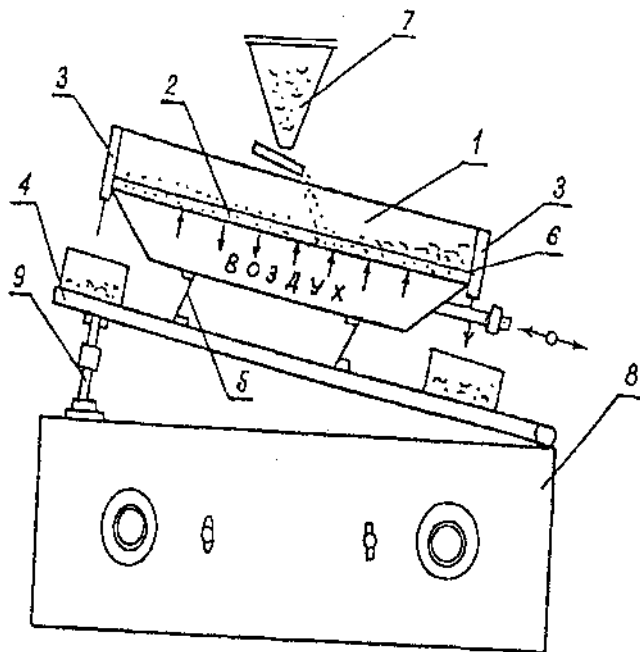


Рис. 3.17. Концентрационный стол СКО-3,5

Кроме конструкций столов мокрого обогащения песков разработаны пневматические концентрационные столы специальной конструкции (СПК) (рис. 3.18). Они предназначены в основном для использования в доводочных операциях, например, для очистки шлихового золота от загрязняющих примесей. Достижимые технологические показатели при работе этих столов приведены в табл. П.3.5.



**Рис. 3.18. Стол пневматический концентрационный СПК:**

1 – разделитель; 2 – пористая дека; 3 – точки для разгрузки концентрата и хвостового продукта; 4 – рама; 5 – плоские опорные пружины; 6 – устройство для измерения высоты сливного порога; 7 – питатель; 8 – пульт управления; 9 – устройство для регулирования угла возвышения разделителя

Особенностью пневматических концентрационных столов заключается в возможности экологически чисто и высокоэффективно осуществлять окончательную обработку золотосодержащих концен-

тратов россыпей золотообьичи как в условиях ШОУ и ШОФ, так и непосредственно на драгах и промприборе.

*Факторы, влияющие на работу концентрационных столов.*

Эффективность обогащения золотосодержащих песков зависит от их вещественного состава, частоты колебаний и длины хода деки, угла наклона и конструктивных особенностей аппарата.

*Угол наклона деки стола.* При обогащении мелкозернистых смесей угол поперечного наклона обычно  $1,5...2,5^\circ$ , при грубозернистом  $4...8^\circ$ . Существенное значение имеет и продольный угол наклона деки стола, поэтому изготовление их производится с учетом регулировки разгрузки материала.

*Частота колебаний и длина хода деки.* Частоту колебаний стола и длину хода деки рекомендуется определять в зависимости от крупности материала, пользуясь следующими эмпирическими зависимостями [106]:

$$l = 18\sqrt[3]{d_{max}}; \quad (3.44)$$

$$n = 250 / \sqrt[3]{d_{max}}. \quad (3.45)$$

где  $l$  – длина хода, мм;

$d$  – наибольший размер зерна обогащаемого материала, мм;

$n$  – частота колебаний,  $\text{мин}^{-1}$ .

Производительность концентрационных столов зависит от вещественного состава золотосодержащих песков и площади деки. При этом содержание твердого в питании концентрационных столов должно составлять  $15...30\%$ , поскольку чрезмерное разжижение продуктов ведет к дополнительным потерям тяжелой фракции. Расход воды на 1 т исходного материала составляет  $1...2 \text{ м}^3$ .

Удельную производительность рекомендуется определять в зависимости от крупности максимального размера зерна:

$$q_0 = 0,2d_{max}, \quad (3.46)$$

где  $q_0$  – удельная производительность,  $\text{т}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ ;

$d_{max}$  – максимальный размер зерен обогащаемого материала, мм.

Обогащение песков россыпных месторождений, предварительно обесцеламленных и отгрохоченных от крупной фракции, на концентрационных столах проходит эффективно.

Основное преимущество концентрационных столов – высокое извлечение, а главный недостаток – низкая удельная производительность. Поэтому концентрационные столы целесообразно использовать не для обогащения исходных бедных песков, а для доводки концентратов, полученных при отсадке, на винтовых сепараторах или шлюзах.

### **3.3.3. Обогащение на винтовых сепараторах**

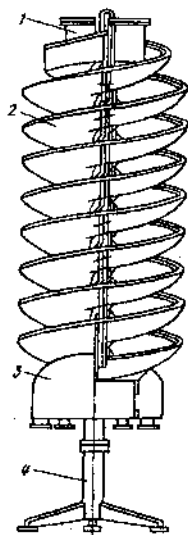
Винтовые сепараторы получили широкое применение для обогащения мелкозернистых песков, содержащих золото, ильменит, циркон, рутил и другие минералы.

Винтовые сепараторы конструктивно просты и они не имеют движущихся частей. Применение винтовых сепараторов вместо шлюзов и концентрационных столов позволяет значительно увеличить производительность фабрик при снижении себестоимости продукции. Особенность винтовых сепараторов – они имеют высокую удельную производительность на 1 м<sup>2</sup> занимаемой площади.

Основной элемент сепаратора желоб выполнен в виде спирали и в поперечном сечении имеет овальную форму (рис. 3.19).

Причем внешний борт желоба расположен выше внутреннего. Подача пульпы производится в верхнюю часть сепаратора, и разделение минеральной фракции происходит под действием силы тяжести при истечении пульпы сверху вниз.

Расслоение минеральных зерен различной плотности при движении по спиральному желобу происходит под действием гидродинамических сил потока, центробежных сил и силы инерции. Тяжелые минералы концентрируются у внутреннего борта желоба, а легкие – у внешнего.

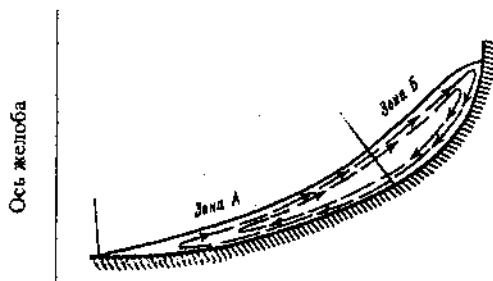


**Рис. 3.19. Винтовой сепаратор СВМ-1200 [23, 104]:**

*1 – питатель; 2 – винтовой желоб; 3 – вывод продуктов; 4 – каркас*

Отличительные особенности процесса обогащения на винтовых сепараторах:

– поток пульпы под влиянием центробежных сил принимает наклонное положение с серповидным профилем поперечного сечения (рис. 3.20);



**Рис. 3.20. Циркуляция в винтовом потоке [1]**

– глубина потока в разных зонах поперечного сечения различна. Малая глубина потока наблюдается у внутреннего борта желоба, максимальная – в средней части, ближе к внешнему борту;

– скорость потока в различных зонах (А, Б) поперечного сечения также различна. Верхние слои потока имеют большую скорость, чем придонные. Максимальная продольная скорость внутреннего потока у внешнего борта достигает (1,5...2 м/с). Минимальная продольная скорость у внутреннего борта – 10...20 см/с. Характерно, что из-за различия скоростей по глубине потока винтового желоба возникают циркуляционные течения (поперечная циркуляция потока).

При разделении минеральных зерен разной плотности четко прослеживаются два этапа:

I – расслаивание минералов по вертикали и переход тяжелых минералов в придонные слои;

II – перераспределение зерен в радиальном направлении с образованием минерального веера из продуктов обогащения.

**Конструкции винтовых сепараторов.** Винтовые сепараторы по их конструктивным особенностям подразделяются на два основных типа – с регулируемым и нерегулируемым шагом винтового желоба. Разновидностью винтовых сепараторов являются винтовые шлюзы (для обогащения тонкозернистых материалов крупностью 0,02...0,5 мм), которые отличаются формой желоба и некоторыми конструктивными особенностями (рис. 3.21).

Винтовой сепаратор состоит из винтового желоба 2, пульпоприемника 1, устройства для разделения и вывода продуктов обогащения 3, распределителя смывной воды и несущего каркаса 4. Для изготовления винтового желоба используют чугунное или силуминовое литье, пластмассы и полимерные материалы. Вес сепараторов, изготовленных из силумина, в 5 раз легче чугунных.

Рабочая поверхность желобов футеруется резиной, каменным литьем или полимерным материалом. Число желобов у сепаратора может быть 1 или 2, а у шлюзов 1, 2 или 3.

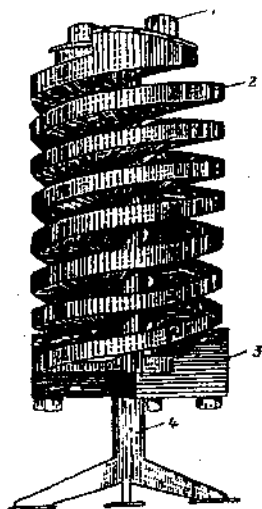


Рис. 3.21. Двухжелобный винтовой шлюз ШВ-2-1000А [23]:  
 1 – питатель; 2 – винтовое желоб; 3 – вывод продуктов; 4 – каркас

При этом диаметр винтового желоба (как основной конструктивный параметр сепаратора) определяет размеры аппарата и его производительность (табл. П.3.6).

Выбор диаметра сепаратора зависит от крупности и плотности разделяемых минералов. При этом гидродинамическая характеристика потока и процесс транспортирования материала существенно зависят от шага и поперечного сечения винтового желоба. Установлено, что ценные компоненты крупностью 1...2 мм эффективнее обогащаются на сепараторах диаметром 1000 мм и более. Для обогащения зерен менее 0,5 мм применяют сепараторы диаметром 500...750 мм. Размер шага для промышленных сепараторов составляет 0,4...0,6 м, винтовых шлюзов 0,5...0,6 м.

Для металлоносных песков крупностью  $-2+0,2$  мм наиболее благоприятной формой желоба является эллипс с отношением большой и малой полуосей 2:1.

Производительность винтовых сепараторов  $Q$  (т/ч) определяют по эмпирической формуле, предложенной И.Н. Исаевым [106, 121]:

$$Q = k_u \rho_u D^2 \sqrt{d_{\max} \frac{\rho_s - 1000}{\rho_s - 1000}}, \quad (3.47)$$

где  $k_u$  – коэффициент, зависящий от материала (для легкообогащаемого  $k_u = 0,7$ , для труднообогащаемого  $k_u = 0,4$ );

$\rho_u, \rho_s, \rho_l$  – плотность соответственно исходного материала, тяжелого и легкого минерала, т/м<sup>3</sup>;

$D$  – диаметр сепаратора, м;

$d_{\max}$  – максимальный размер зерна, мм.

**Влияние технологических факторов на эффективность процесса обогащения на винтовых сепараторах.**

Для оценки эффективности процесса винтовой сепарации предложен критерий разделения, учитывающий плотность минералов [23]:

$$M = \frac{\rho - \rho_s}{\rho_s - 1}, \quad (3.48)$$

где  $\rho$  и  $\rho_s$  – плотность соответственно исходного материала и легкого минерала (при  $M > 1$  процесс разделения минеральных фракций идет эффективно, при  $M = 0,75-1$  разделение минеральных фракций возможно, при  $M < 0,75$  разделения минеральных фракций не происходит).

**Крупность зерен.** Максимальная крупность обогащаемого материала на промышленных сепараторах составляет 6...12 мм. Нижний предел крупности извлекаемых зерен тяжелых минералов составляет 0,1...0,074 мм. На винтовых шлюзах нижний предел составляет 0,03 мм.

**Форма зерен.** На винтовых сепараторах обогащаются лучше зерна ценных компонентов вытянутой или уплощенной формы. При округлой форме ценные компоненты переходят в зону хвостов.

**Содержание тяжелых минералов в исходном материале** может быть от долей до десятков процентов. Установлено, что бедные (до



10 % тяжелой фракции) продукты эффективнее обогащаются на сепараторах с малым шагом, богатые – на сепараторах с большим шагом.

*Плотность пульпы* должна выдерживаться в оптимальных пределах 15...25 % твердого. Повышение содержания твердого в пульпе нарушает процесс расслоения, а при чрезмерном разжижении (менее 10 % твердого) снижается производительность.

Смывная вода, подаваемая на каждый виток сепаратора, регулирует качество получаемых концентратов. Расход смывной воды составляет 0,3...0,6 л/с.

Предварительная классификация исходного материала и обесшламливание улучшает результаты обогащения.

*Выход концентрата* – технологический показатель, характеризующий эффективность работы сепараторов. Исследованиями установлено, что при увеличении крупности исходного материала выход концентрата уменьшается. Так, при крупности -16 мм выход концентрата составляет 6...12 %, а при крупности -2 мм 20...30 %.

Винтовые сепараторы широко применяют при обогащении золотосодержащих песков. Они могут применяться как для основной, так и перечистной операции. В ряде случаев они могут заменить шлюзы и отсадочные машины. При этом извлечение ценных минералов на винтовых сепараторах не ниже, чем на отсадочных машинах, а расходы на обогащение 1 м<sup>3</sup> песков уменьшаются на 15...60 %.

### **3.3.4. Обогащение в тонкослойных потоках на основе разделителей минеральных частиц**

Тонкослойный концентратор (ТК) применяется для выделения в тонком потоке легких и тяжелых минеральных частиц (рис. 3.22) [78].

Тонкослойный разделитель минеральных частиц состоит из оболочки в виде трубы большого диаметра, установленной под углом к горизонту и выполняющей роль корпуса 2. Труба заполнена пакетами параллельных пластин, объединенных в кассеты 4.

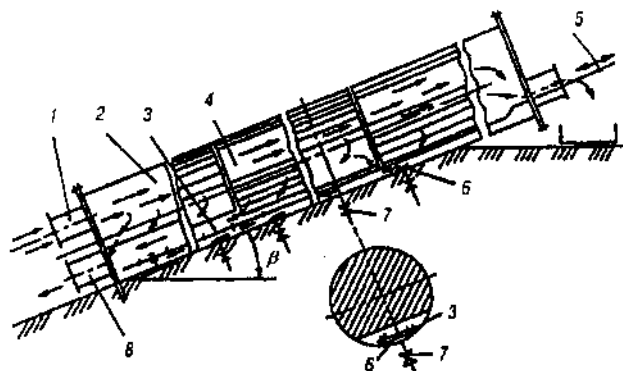


Рис. 3.22. Устройство тонкослойного разделителя минеральных частиц:  
 1 – нижний патрубок; 2 – корпус; 3 – вибровозбудитель; 4 – кассеты;  
 5 – привод; 6 – улавливающие карманы; 7 – разгрузочные клапаны;  
 8 – разгрузочный патрубок

Вдоль днища оболочки установлены улавливающие карманы 6 с разгрузочными клапанами 7 и вибровозбудитель 3 с приводом 5. При этом хвосты промывки металлоносных песков поступают в разделитель через нижний патрубок 1, проходя зону межпластинчатого пространства, где создается ламинарное течение массопотока и резко увеличивается поверхность осаждения минеральных частиц. Особенность установки пакета пластин смежных кассет и ступенчатое их расположение позволяют создать наиболее активные зоны осаждения минеральных частиц, интенсифицируя процесс их выделения в транспортирующем потоке гидросмеси. Осадок в тонкослойном потоке воды перемещается нижний слой кассеты, где под действием вибрации поступает к разгрузочному патрубку 8. Вибровозбудитель создает эффект «отсадки» и дополнительно переводит тяжелую фракцию в придонный слой оболочки разделителя, вдоль которого расположены улавливающие карманы. Заложенный в трубной конструкции существующего устройства модульный принцип компоновки позволяет объединять их в батареи (рис. 3.23). Конструктивно-аппаратурное оформление модулей показано на рис. 3.24 [75].

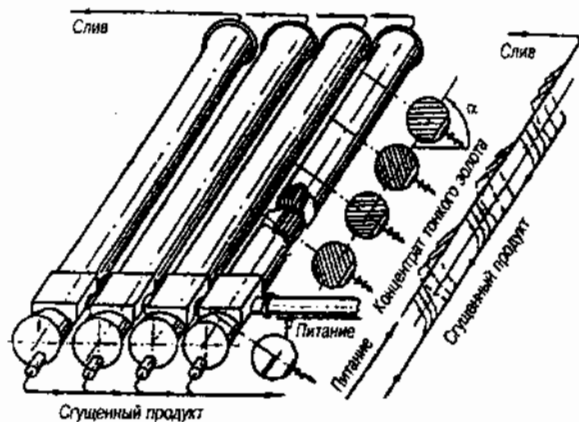


Рис. 3.23. Батарея тонкослойных разделителей

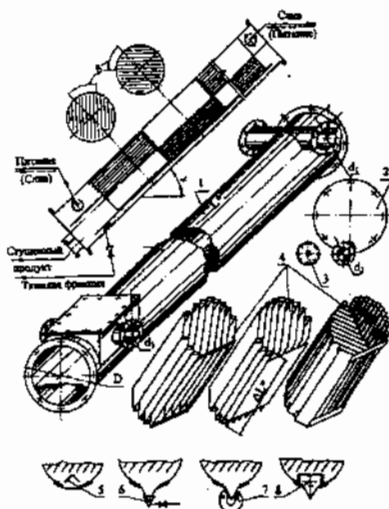


Рис. 3.24. Базовые узлы модуля и его комплектация технологическими элементами:

- 1 – корпус; 2 – фланец; 3 – калибровочная насадка; 4 – тонкослойные кассеты (варианты); 5 – экран; 6 – отсекаль тяжелой фракции (карман); 7 – магнитная система; 8 – вибровозбудитель;  $L^*$ ,  $\Delta L^*$ ,  $D$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  – унифицированные размеры (базовые)

По данным опытно-промышленных испытаний, на объектах россыпной золотодобычи установлена возможность доизвлечения труднообогатимых классов золота -0,15 мм до 7...10 % [75, 76].

### **3.4. Обогащение на отсадочных машинах**

#### **3.4.1. Физические основы обогащения отсадкой и конструкции отсадочных машин**

Отсадкой называется процесс разделения смеси минеральных зерен по удельному весу в восходящих и нисходящих струях воды или воздуха. Отсадка широко используется при обогащении золотосодержащих песков россыпных месторождений и осуществляется в отсадочных машинах. В практике обогащения отсадке подвергают полезные ископаемые крупностью 0,25 (0,5)...150 (250) мм.

Исходный материал подвергается разделению на слои, отличающиеся по плотности и крупности. Формирование слоев на отсадочном решетке происходит в результате периодического действия восходящих и нисходящих струй разделительной среды, обусловленного работой приводного механизма. При этом, в нижних слоях концентрируется тяжелый продукт, а в верхних – легкий. Разгрузка тяжелого продукта производится через специальные шибберные устройства и решето отсадочной машины, а легкого – потоком разделительной среды через сливной порог.

При обогащении мелкозернистого материала крупностью < 10 (13) мм на решето укладывают слой искусственной постели из другого материала, который по плотности меньше тяжелого, но больше легкого минерала разделяемой смеси, по крупности в 2...2,5 раза больше самого крупного зерна разделяемой смеси.

В качестве искусственной постели используются гематит, магнетит, ферросилиций, металлическая дробь и др. Слой искусственной постели предотвращает прохождение мелких легких зерен под решето

машины и тем самым препятствует засорению тяжелого продукта легкими зернами.

Процесс отсадки не имеет единой общепризнанной интерпретации. Теоретические представления о расслоении частиц в постели отсадочной машины носят характер гипотез. Можно выделить два основных научных направления: детерминистское и массово-статистическое.

Детерминистское направление раскрывается скоростной гипотезой, основанной на различии в скоростях разделения легких и тяжелых минеральных зерен в постели отсадочной машины. Сущность ее заключается в следующем. Тяжелая частица при своем движении обгонит легкую и быстрее достигнет решета отсадочной машины. Тяжелые частицы концентрируются в нижнем слое на поверхности решета. Легкие частицы, отстающие при движении в скорости, располагаются в верхнем слое постели.

Однако этой гипотезой можно объяснить поведение в постели машины зерен, мало отличающихся по размеру. В реальных условиях обогащения отсадке подвергают широко классифицированные смеси, поэтому гипотеза только приближенно объясняет процесс, не учитывая механического взаимодействия частиц при их массовом движении. Детерминистское направление позволяет учесть влияние крупности, плотности частиц, их формы на результат расслоения и количественно оценить влияние сил, вызывающих перемещение отдельной частицы, но это направление не раскрывает полностью закономерностей движения совокупности зерен и процесс формирования слоев из однородных по плотности частиц.

Массово-статистическое направление рассматривает перемещение не отдельных зерен, а их совокупности, характеризуемой определенными константами, как результат действия на них системы сил, проявление которых носит вероятностно-статистический характер. Оно базируется на основных положениях теории вероятности и статистической физики.

Предложен ряд моделей разделения частиц при отсадке [121]:

- суспензионная;
- энергетическая;
- вероятностно-статистическая.

Суспензионная модель базируется на основах разделения минеральных зерен в постели отсадочной машины подобно расслоению по плотности в минеральной суспензии, образуемой взвесью обогащаемого материала и искусственной постелью в воде.

Энергетическая модель учитывает свойство отсадочной постели как замкнутой механической системы, находящейся в неустойчивом равновесии в поле силы тяжести, стремящейся к устойчивому положению, которое сопровождается уменьшением потенциальной энергии системы вследствие расслоения компонентов смеси по плотности.

Потенциальная энергия исходной смеси в ходе расслоения переходит в кинетическую и в совокупности с прилагаемой энергией извне затрачивается на преодоление сил механического взаимодействия при движении частиц к родственным слоям равновесия.

Вероятностно-статистическая модель представляет отсадку как массовый процесс с вероятностным характером перемещения частиц различных физических свойств. В этой модели анализируются закономерности перемещения группы однородных зерен и случайные перемещения отдельных частиц относительно центра их распределения.

Теоретическую интерпретацию процесса производят на сочетании и взаимном дополнении различных моделей как первого, так и второго научных направлений.

За основу исследований обычно принимают аналитическое описание закономерностей разрыхления постели отсадочной машины, в котором учитывается режим колебаний рабочей среды, оказывающий влияние на эффективность разделения частиц при отсадке.

Режим отсадки определяется двумя факторами:

- частотой циклов отсадки;
- амплитудой отсадки (ходом диафрагмы).

Циклом отсадки называется закономерное изменение перемещения среды в постели отсадочной машины в течение периода колебаний. Частота циклов и амплитуда отсадки устанавливается в зависимости от крупности обогащаемого материала (табл. 3.6).

Т а б л и ц а 3 . 6

**Зависимость частоты цикла и амплитуды от крупности материала**

Крупность материала, мм	-16 + 8	- 8 + 4	- 4 + 0,5
Частота пульсаций, мин <sup>-1</sup>	120-140	220-240	600
Амплитуда, мм	50-60	30-40	8-16

При отсадке различают [121]:

- прямой цикл (симметричный), при котором скорость восходящей и нисходящей струй воды и время их действия почти одинаковы;
- обратный цикл (асимметричный), при котором время действия нисходящей струи больше, чем восходящей струи;
- цикл Майера – время действия восходящей струи невелико, и материал находится довольно долго в спокойном состоянии. Время действия нисходящей струи также невелико, и материал быстро осаждается на решето. Материал расслаивается в неподвижной воде во время паузы;
- цикл Берда – большая скорость подъема и малая скорость опускания постели при отсутствии паузы между ними;
- цикл Томаса – медленное действие восходящей струи и быстрое действие сильной нисходящей струи. Отсадка происходит в основном во время действия восходящей струи воды.

Цикл может оказывать существенное влияние на отсадку лишь при небольшой частоте колебаний среды (меньше 100 колебаний в минуту).

При многократном повторении пульсаций в отсадочной машине образуется три зоны: верхняя – транспортирующая, средняя – зона

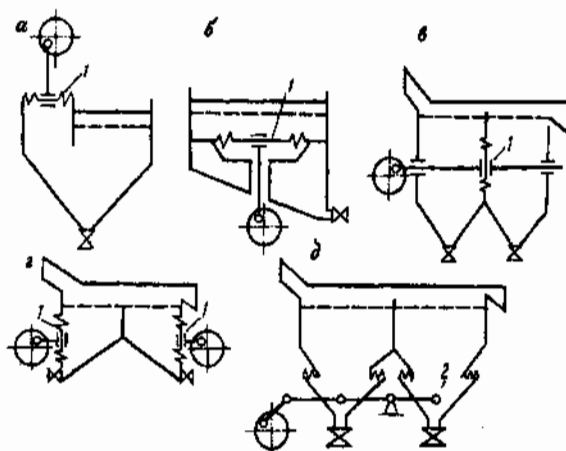
расслоения и нижняя – зона концентрации. В транспортирующей зоне материал переносится от места его загрузки к месту разгрузки. Материал в этой зоне наиболее текуч и имеет минимальную плотность. В зоне расслоения минеральные зёрна распределяются по плотности: лёгкие зёрна вытесняются в верхние слои, а тяжёлые проникают вниз. В зоне концентрации накапливаются зёрна тяжёлых минералов.

Уменьшение частоты колебаний ведет к получению продуктов обогащения повышенного качества, увеличению производительности отсадочных машин, сокращению расхода подрешетной воды.

Конструкции отсадочных машин различают по принципу работы приводного механизма и загрузочного устройства, числу выдаваемых продуктов обогащения. Отсадочные машины подразделяются на машины с подвижным и неподвижным решетом. В машинах первого типа решето с материалом движется относительно воды, второго типа – восходящая и нисходящая струи образуются движением самой среды. Отсадочные машины с подвижным решетом обладают высокой удельной производительностью, однако редко применяются при обогащении россыпей, так как они не позволяют получить концентрат высокого качества.

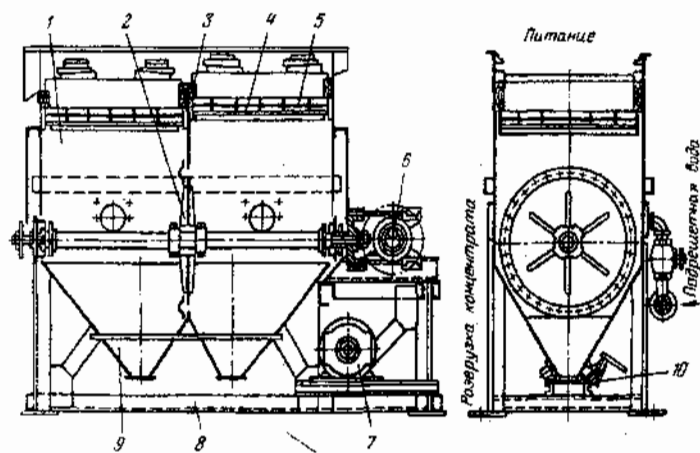
Машины с неподвижным решетом по способу сообщения пульсаций среде и материалу делятся на поршневые, диафрагмовые и беспоршневые. При обогащении золотосодержащих россыпей как в основном цикле обогащения, так и при доводке золотосодержащих концентратов широкое применение получили диафрагмовые отсадочные машины (рис. 3.25). Диафрагмовые отсадочные машины отличаются простотой конструкции, компактностью, обеспечением жесткого режима пульсаций среды при постоянстве амплитуды колебаний диафрагмы. Устройство диафрагмовой отсадочной машины с неподвижным решетом (рис. 3.26). Основной элемент машины – камера. Она имеет перегородку, не доходящую до дна камеры. При этом перегородка делит камеру на два сообщающихся между собой отделения – диафрагмовое и концентрационное.





**Рис. 2.25. Схемы диафрагмовых отсадочных машин [121]:**

*а* – с боковым расположением диафрагмы; *б* – с подрешетным расположением диафрагмы; *в* – с вертикальной диафрагмой в перегородке; *г* – с вертикальной диафрагмой в наружной стенке; *д* – с подвижными коническими днищами; 1 – диафрагма; 2 – днище



**Рис. 3.26. Диафрагмовая высокочастотная отсадочная машина типа ОВМ:**

1 – камера; 2 – диафрагма; 3 – междукамерная перегородка; 4 – сито; 5 – решетка; 6 – кривошипный механизм; 7 – электродвигатель; 8 – рама; 9 – тирамидальное днище; 10 – разгрузочное устройство

Диафрагма получает возвратно-поступательное движение от эксцентрикового вала. Материал поступает на решето концентрационного отделения. Камера заполняется водой. В концентрационном отделении камеры создается восходящий поток воды, благодаря которому рудные зерна поднимаются, слой разрыхляется. При нисходящем потоке воды улучшается расслоение за счет увеличения разницы скоростей падения тяжелых и легких зерен. Непрерывное чередование восходящих и нисходящих потоков воды позволяет разделить материал на два слоя: нижний (тяжелые минералы) и верхний (легкие минералы).

При обогащении крупнозернистого материала концентрат остается на решетке в виде естественной постели и разгружается через боковую и центральную разгрузочную щель в стенке корпуса машины. При крупности материала меньше 4 мм концентрат разгружается под решето. Легкая фракция под действием горизонтального потока воды разгружается через сливной порог последней камеры.

Технические характеристики отсадочных машин с вертикальной диафрагмой в перегородке ОВМ-1, с вертикальной диафрагмой в наружных стенках МОД-4, с подвижными коническими днищами МОД-1, МОД-2, МОД-3 приведены в табл. П.3.7.

В последнее время в ОАО «Завод Труд» разработана эффективная диафрагмовая отсадочная машина с подвижным решетом круглого типа («Труд-12») производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч (рис. 3.27), не уступающая зарубежным аналогам. Техническая характеристика машины приведена в табл. П.3.8.

В отсадочной машине «Труд-12» (табл. П.3.8, П.3.9) с подвижным решетом за счет быстрого опускания решета создаются условия взвешенного состояния и разрыхления слоя из разделяемых рудных частиц, условия, в которых падающие частицы проявляют свою физическую индивидуальность под действием естественных сил тяготения.

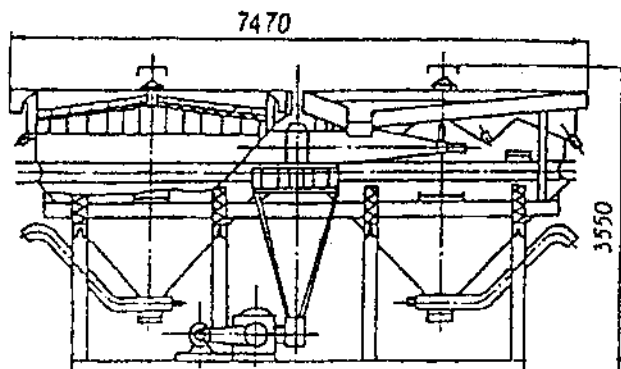
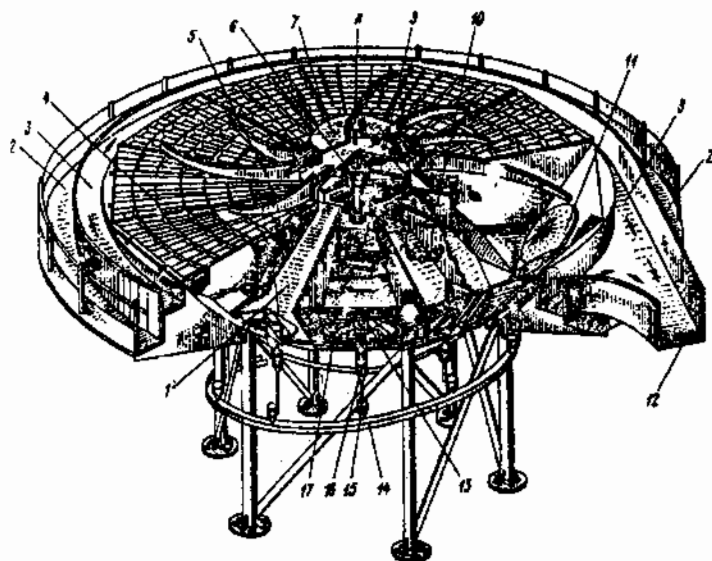


Рис. 3.27. Двухкамерная круглая диафрагмовая отсадочная машина «Труд-12» с подвижным решетом. Общий вид

Если в машине с неподвижным решетом восходящий гидросток интенсифицирует вынос мелочи в хвосты обогащения, а нисходящий — ухудшает разрыхление, то в машинах с подвижным решетом происходит восстановление потенциальной энергии рудных частиц, а падение частиц под действием сил тяжести — индивидуально (в зависимости от массы, плотности, формы и т.п.). Такой процесс уменьшает вынос мелких частиц в хвосты обогащения и благоприятствует разрыхлению рудного слоя в процессе.

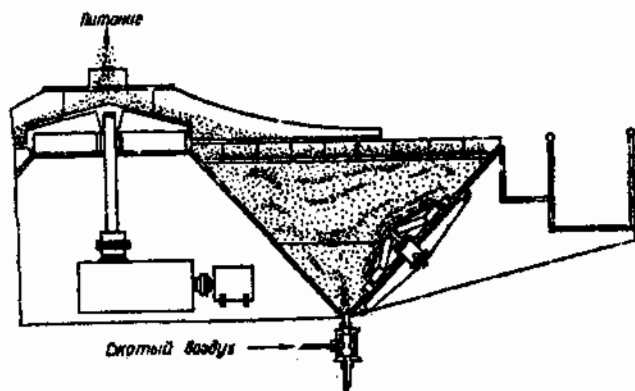
Проведенные институтом ОАО «Иргиредмет» испытания машины «Труд-12» в ГП «Алданзолото» подтвердили высокую технологическую эффективность работы при обогащении песков с мелким золотом (массовая доля золота мельче 0,25 мм достигла в песках 50 % и больше).

При обогащении морских россыпей золота широко используют радиальные (круглые) отсадочные машины с искусственной постелью [106], состоящие из отдельных камер (рис. 3.28, 3.29). В стенке каждой камеры размещена диафрагма, приводимая в движение гидравлическим приводом.



**Рис. 3.28. Радиальная отсадочная машина:**

1 – камера-секция; 2 – платформа для обслуживания; 3 – хвостовой желоб;  
 4 – грохоты с решеткой; 5 – гребки; 6 – главный подшипник; 7 – гребковое устройство; 8 – питание; 9 – редуктор; 10 – электродвигатель; 11 – диафрагма;  
 12 – место для разгрузки хвостов; 13 – гидравлический цилиндр; 14 – желоб для концентрата; 15 – стигот циклонного типа; 16 – клапан зажимного типа;  
 17 – диафрагма



**Рис. 3.29. Разрез камеры радиальной отсадочной машины**

Равномерное распределение питания песков (через центральное отверстие) на поверхности решета, исключая заиливание, достигается за счет гребкового механизма. Разгрузка концентрата осуществляется под решето. Хвосты обогащения разгружаются через кольцевой порог по периметру машины в кольцевой желоб.

Основные преимущества круглых отсадочных машин:

- небольшое количество движущихся частей;
- простота способа распределения пульпы;
- предотвращение заливания рабочего решета машины;
- простота регулирования параметров отсадки;
- высокая производительность (до 175...300 м<sup>3</sup>/ч) и незначительные габариты машины по высоте.

Для улавливания самородков любой крупности и различной формы применяются специальные отсадочные машины ОМТ с механической транспортировкой материала (рис. 3.30).

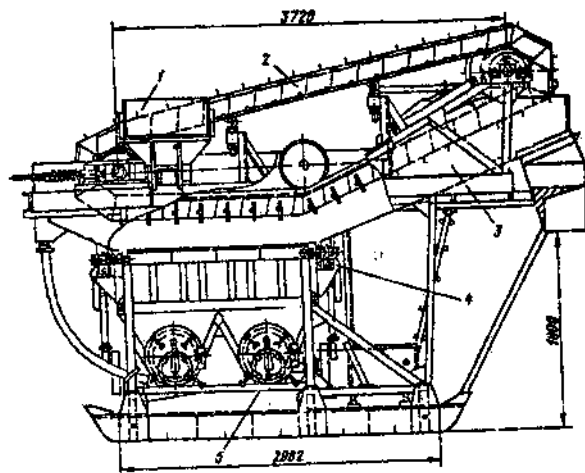


Рис. 3.30. Отсадочная машина ОМТ [6]:

1 – приемная воронка; 2 – скребковый ленточный конвейер; 3 – обезвоживающий желоб; 4 – червячный редуктор; 5 – откидная крышка разгрузочного устройства

Режим работы отсадочных машин зависит от свойств исходного материала (крупности, гранулометрического состава, физико-химических свойств и т. д.), гидродинамических (расхода воды, отношения жидкого к твердому, плотности и вязкости среды и т. д.) и аэродинамических (амплитуды и частоты пульсаций, цикла отсадки) условий, а также от конструктивных особенностей машины (площади отсадочного решета, способа разгрузки и т. д.).

Из последних поколений машин заслуживает особого внимания гравитационный концентратор Красноярского государственного университета цветных металлов и золота (рис. 3.31), предназначенный для доводки первичных черновых концентраторов золота. Основные параметры гравитационного концентратора приведены в табл. П.3.16.

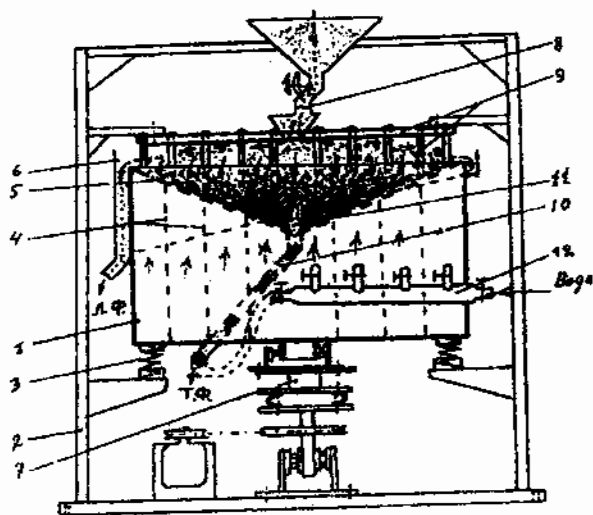


Рис. 3.31. Гравитационный аппарат:

- 1 – корпус; 2 – рама; 3 – амортизаторы; 4 – решето; 6 – желоб-приемник;  
 7 – привод; 8 – загрузочное устройство; 9 – разрыхляющее устройство;  
 10 – патрубков; 11 – запирающее устройство; 12 – распределительное устройство

### 3.5. Центробежное обогащение золотосодержащих песков

Традиционные методы гравитационного обогащения песков неэффективны из-за низкого извлечения мелких и тонких классов золота. Актуальность этой проблемы приобретает все большее значение в последние время.

В традиционных гравитационных процессах обогащения (отсадка, обогащение в безнапорных наклонных потоках и др.) главной действующей силой, определяющей разделение зерен, является сила тяжести. Поэтому действие силы гравитационного разделения стремится усилить с помощью дополнительных силовых воздействий. В первую очередь за счет центробежного силового поля.

Центробежная сила, возникающая в криволинейных потоках:

$$F_{ц.б.} = \frac{m \cdot v_t^2}{R_T}, \quad (3.49)$$

где  $m$  – масса зерна, кг;

$v_t$  – тангенциальная скорость его движения, м/с;

$R_T$  – радиус кривизны траектории зерна, м.

Если центробежная сила, действующая на зерно в криволинейном потоке, во много раз больше силы тяжести, то разделение происходит под действием центробежной силы и эту разновидность процесса называют центробежным обогащением.

Безразмерный параметр, представляющий собой отношение ускорения центробежной силы к ускорению свободного падения, носит название фактора разделения:

$$\Phi_p = \frac{\omega^2 \cdot R_T}{g}, \quad (3.50)$$

где  $\omega$  – угловая скорость.

Создание центробежного поля в центробежных обогатительных аппаратах (концентраторах или сепараторах) принципиально может осуществляться двумя следующими путями:

1) тангенциальной подачей потока под давлением в закрытый (или открытый) неподвижный цилиндрический (конической или иной формы) сосуд;

2) закручиванием свободно подаваемого потока стенкой вращающегося сосуда или вращающейся мешалкой внутри него.

Появление центробежных аппаратов позволило значительно интенсифицировать процесс обогащения и расширить границы извлечения тонких и мелких классов ценного компонента. В последнее время на Российском рынке обогатительного оборудования появилось большое количество отечественных и импортных центробежных сепараторов. Наиболее эффективными из них являются сепараторы роторного типа. Разделение частиц в роторных безнапорных центробежных аппаратах происходит при небольшой глубине транспортирующего водного потока в условиях интенсивного взаимодействия частиц друг с другом (рис. 3.32).

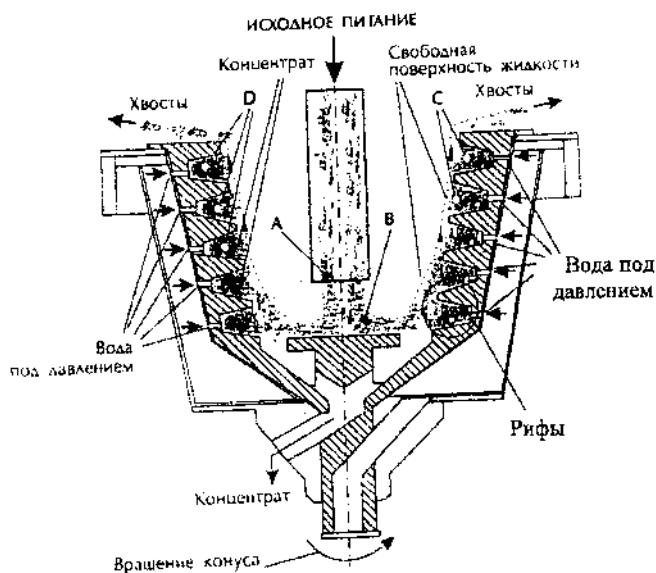


Рис. 3.32. Разделение массопотоков в центробежном сепараторе



Направленно созданный эффект повышения эффективности сепарационных процессов в центробежных аппаратах положительно влияет на извлечение как мелкого, так и крупного золота [114].

Центробежные аппараты, предназначенные для извлечения золота из россыпей по способу разрыхления постели, можно условно подразделить на следующие группы:

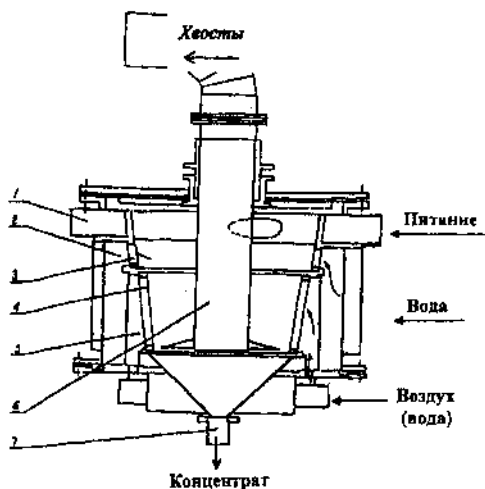
- без разрыхления постели (центрифуги);
- с механическим рыхлением постели (Отосон);
- с вибрационным рыхлением постели (типа ЦБК, СЦВ);

4) с рыхлением постели с помощью оживающей воды (концентратор Knelson, Falson, СЦМ, Итомак).

С целью расширения области применения центробежных аппаратов для эффективного извлечения мелкого самородного золота при обогащении мелкозернистых илисто-глинистых фракций песков и доводки гравиконоцентраторов в институте ОАО «Иргиредмет» разработаны и испытаны в промышленных условиях центробежно-сегрегационные аппараты: центробежно-барботажный концентратор (ЦБК) для основных операций обогащения песков и центробежный сепаратор с механизированной разгрузкой концентрата (СЦМ) для доводки золотосодержащих концентраторов.

Центробежно-барботажный концентратор (ЦБК) (рис. 3.33) является концентратором непрерывного действия, работающим на малом статическом напоре пульпы, разделение по плотности происходит в псевдооживленном слое частиц с проявлением интенсивного сегрегационного эффекта и высокой степенью концентрации ценного компонента в концентрате.

По результатам испытаний, при обогащении мелкозернистых илисто-глинистых фракций песков в ЦБК извлечение золота мельче 0,1 мм составило около 91 %, при выходе концентрата не выше 2 %. Использование СЦМ для доводки концентраторов позволило извлечь около 92,5 % золота мельче 0,1 мм, при выходе концентрата 1,2...1,5 %. Технические характеристики ЦБК и СЦМ приведены в табл. П.3.10, П.3.11.



**Рис. 3.33. Центробежно-барботажный концентратор:**

*1 – улитка для подвода питания; 2 – улитка для подвода воды; 3 – направляющее устройство для закручивания воды и пульпы; 4 – то же для воды или воздуха; 5 – улитка для подвода воздуха или воды; 6 – узел разгрузки хвостов; 7 – узел разгрузки*

В ЦНИГРИ создан центробежный концентратор типа «Бегущая волна», принцип действия которого основан на разделении минералов по плотности на поверхности разделяющего устройства, совершающего центробежно-процессионные колебания. Конструкция аппарата позволяет эффективно обогащать небольшие массы материалов, содержащих мелкое и тонкое золото. Техническая характеристика концентратора «Бегущая волна» приведена в табл. П.3.12.

ТулНИГП разработаны серия центробежных сепараторов типа СУ для обогащения и доводки гравитационным методом в центробежном поле золотосодержащего материала с повышенным содержанием мелких зерен ценного компонента, а также сепараторов вибрационно-центробежных типа СВЦ-1 и ВЦДС-М, предназначенных для доводки концентратов, получаемых при обработке песков золотосодержащих россылей. Технические характеристики сепараторов приведены в табл. П.3.13, П.3.14.

Институтом ОАО «Иргиредмет» разработан новый центробежно-сегрегационный сепаратор (ЦСС) для обогащения золотосодержащего сырья и доводки гравикоонцентратов с мелким золотом (рис. 3.34).

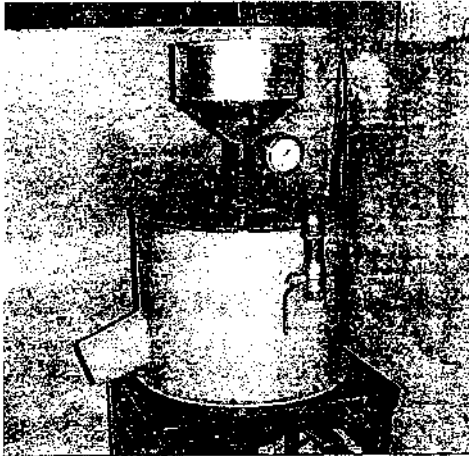


Рис. 3.34. Центробежно-сегрегационный сепаратор (ЦСС)

Основные преимущества конструкции сепаратора:

- позволяет разгружать концентрат без остановки аппарата;
- для тонкозернистых фракций позволяет разгружать концентрат даже без прекращения подачи питания;
- визуальный контроль подачи разрыхляющей воды.

Сепаратор выпускается двух типоразмеров: производительностью до 0,5 т/ч (ЦСС-0,5) и до 5 т/ч (ЦСС-5). Характеристика типоразмеров ЦСС-0,5 и ЦСС-5 приведена в табл. П.3.15.

Результаты лабораторных испытаний показали, что по технологической эффективности обогащения золотосодержащих песков ЦСС не уступает известным концентраторам «Нельсон» и «Итомак». Уровень извлечения мелкого свободного золота (крупностью менее 0,1 мм) в концентрат составляет 80...90 %.

Центробежные концентраторы с вращающимся ротором («Нельсон», «Итомак», «Фалькон», «Супербоул» и др.) относятся к классу безнапорных аппаратов и имеют ряд существенных недостатков:

- невысокая (низкая) производительность;
- требуют применения предварительно подготовленной очищенной технологической воды;
- очень чувствительны к изменениям технологических режимов работы;
- требуют квалифицированного обслуживания;
- обязательное использование электроэнергии;
- весьма ограниченное применение при переработке больших объемов пульпы и сильной обводненности обогащаемых песков.

В Красноярском государственном университете цветных металлов и золота разработан аппарат с центробежным способом разрыхления слоя центрифугируемого материала (рис. 3.35).

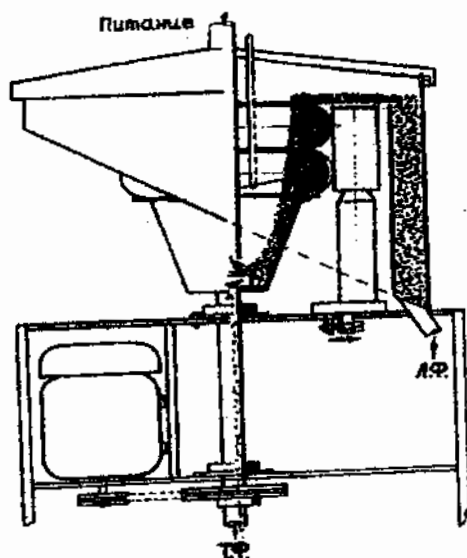


Рис. 3.35. Разрез центробежного аппарата

Принципиальная особенность аппарата заключается в том, что цилиндрическая часть ротора выполнена из эластичного материала. Это техническое решение позволяет управлять центробежным ускорением с целью равномерного разрыхления материала, содержащего тонкие минеральные частицы.

Экспериментальными исследованиями на пилотной установке показано получение извлечения тонких (менее 0,040 мм) частиц до 96-98 %. Основные параметры центробежного аппарата даны в табл. И.3.17.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите свойства минералов, учитываемые при гравитационном обогащении полезных ископаемых.

2. Какие силы действуют на зерно при гравитационном обогащении?

3. Приведите формулы, используемые для определения конечных скоростей свободного и стесненного падения зерен.

4. В чем заключается сущность движения зерен в безнапорном наклонном потоке?

5. Каким образом распределяются зерна по глубине безнапорного наклонного потока?

6. Назовите конструктивные и технологические особенности концентрационных столов.

7. Перечислите факторы, влияющие на работу концентрационных столов.

8. Назовите конструктивные и технологические особенности шлюзов.

9. Перечислите факторы, влияющие на работу шлюзов.

10. Расскажите устройство и принцип действия винтовых сепараторов.

11. В чем заключаются отличия винтовых сепараторов от винтовых шлюзов?
12. В чем заключается особенность разделения минеральных частиц в восходящем и нисходящем потоках воды?
13. Раскройте основные циклы отсадки.
14. Перечислите основные особенности разделения минеральных частиц в центробежных аппаратах.
15. Какие силы действуют на минеральные частицы в зоне разделения при центробежной сепарации?
16. Поясните конструктивные и технологические особенности центробежных сепараторов.

### **Рекомендуемая литература**

1. Андреева Г.С. Переработка и обогащение полезных ископаемых россыпных месторождений / Г.С. Андреева, С.Я. Горюшкина, В.П. Небера. – М.: Недра, 1992. – 410 с.
2. Иванов В.Д. Винтовые аппараты для обогащения руд и песков в России / В.Д. Иванов, С.А. Прокопьев. – М.: МГУ: Дакси, 2000. – 239 с.
3. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения / Б.В. Кизевальтер. – М.: Недра, 1979.
4. Лопатин А.Г. Центробежное обогащение руд и песков / А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1987.
5. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О.В. Замятин, А.Г. Лопатин, Н.П. Санникова, А.Д. Чугунов. – М.: Недра, 1975. – 264 с.
6. Троицкий В.В. Промывка полезных ископаемых / В.В. Троицкий. – М.: Недра, 1978. – 255 с.
7. Шохин В.Н. Гравитационные методы обогащения: учеб. для вузов / В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1980. – 400 с.

## 4. КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ

Основным направлением повышения эффективности гравитационных методов обогащения является использование нетрадиционных аппаратов, в которых реализуют комбинированное силовое воздействие на минеральные частицы [28]. Например, усиливают воздействие гравитационных сил магнитными силами, или применяют совместные воздействия на минеральные частицы пульсирующих потоков стационарных и нестационарных центробежных и вибрационных полей.

### 4.1. Отсадочно-центробежные концентраторы

В последнее время в перчатных и доводочных операциях, используемых по извлечению мелкого золота, получают применение центробежно-отсадочные машины (ЦОМ, НТЦ ГОМ, г. Новосибирск). Отличительная особенность машины заключается в совмещении принципа отсадки и центробежной сепарации. Это принципиально новое оборудование для извлечения мелкого и тонкого золота из россыпей, а также для доводки золотосодержащих концентратов, в котором на разделяемые частицы действуют не только силы тяжести и виброколебаний, но и центробежные силы.

Техническая характеристика центробежной отсадочной машины ЦОМ-1 представлена в табл. 4.1. Общий вид приведен на рис. 4.1.

Т а б л и ц а 4 . 1

Техническая характеристика ЦОМ-1

Показатели	Величина
Производительность, т/ч	15
Крупность питания, мм, не более	3
Содержание твердого в питании, %, не более	75
Расход восходящей воды, л/мин	500
Давление восходящей воды, атм., не менее	1,5

Показатели	Величина
Извлечение золота, %, крупностью не менее (мм):	
-0,030 мм	50
-0,075 мм +0,030 мм	75
+0,25 мм	99
Установленная мощность двигателей, кВт	9
Габаритные размеры, мм, не более:	
длина	1800
ширина	1200
высота	1800
Масса, кг, не более	1200

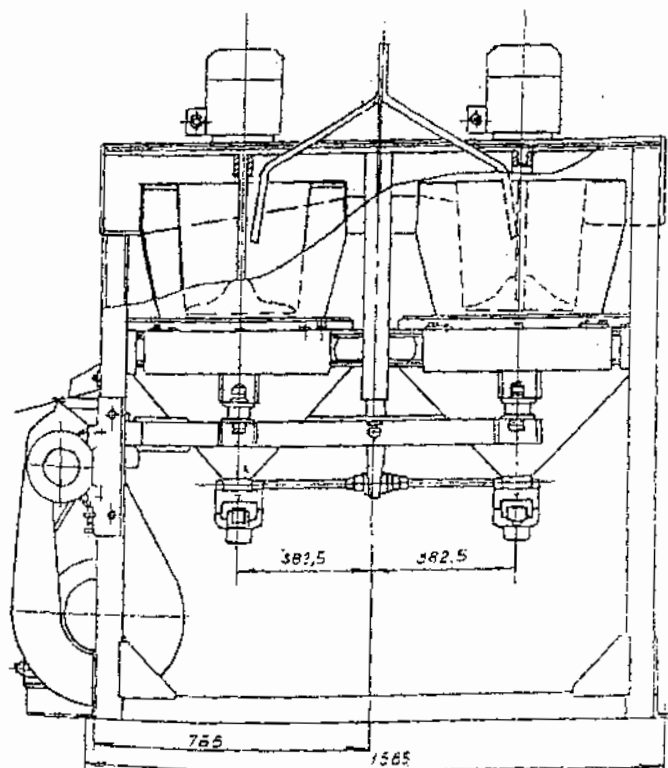


Рис. 4.1. Центробежная отсадочная машина ЦОМ-1



*Принцип работы.* Разделение смеси минеральных зерен по плотности и разности в скорости стесненного падения частиц достигается принудительными комбинированными методами – одновременным воздействием поступательного потока пульпы и вращательного движения ротора. Обогащаемое минеральное сырье подают к ротору отсадочной машины через пустотелый вал, обеспечивая тем самым равномерное распределение частиц. Под воздействием пульсирующего потока воды частицы обогащаемого материала, имеющие меньшую плотность, взвешиваются в ней и перемещаются к сливному порогу.

Частицы с большей плотностью (концентрат) проходят через слой естественной постели и далее через проницаемую стенку ротора опускаются в днище, откуда через разгрузочное устройство выводятся из машины.

На эффективность работы ЦОМ оказывают влияние следующие технологические факторы:

- расход подрешетной воды;
- частота вращения роторов;
- частота и амплитуда пульсации конических днищ;
- высота переливного порога ротора;
- размер отверстий в стенке ротора;
- угол конусности ротора;
- крупность и плотность частиц;
- разжижение питания;
- свойства минеральной постели.

Испытание и промышленное применение центробежной отсадочной машины ЦОМ-1 показали, что извлечение мелкого (-0,25+0,1 мм) и тонкого (-0,1 мм) золота из илисто-глинистой фракции песков составило 96...98 % и 91...93 % соответственно [47].

## **4.2. Магнитогидродинамическая и магнитогидростатическая сепарации**

Среди перспективных процессов, обеспечивающих повышение качественных показателей извлечения мелкого и тонкого золота, выделяют магнитно-гравитационные методы, основанные на эффекте магнитной сепарации II-го рода с использованием разделительных сред различного типа и подвижности. Наиболее известными из них являются магнитогравиметрическая (МГМ-), магнитогидродинамическая (МГД-), магнитогидростатическая (МГС-) и магнитофлокуляционная (МФ-) сепарации. Первые (из числа перечисленных) требуют для своего осуществления специальных сред (растворов), что предопределяет область их применения. В основном они применяются при доводке концентратов, где объемы переработки невелики.

МФ-сепарация предполагает использование сфлукулированных из ферромагнитных частиц объемных структур в качестве улавливающей среды – постели для золота и других тяжелых немагнитных минералов.

МГД-сепарация – процесс разделения полезных ископаемых по плотности, магнитной восприимчивости и электропроводности.

Различают два вида МГД-сепарации [28, 121]:

– собственно МГД-сепарация, в которой разделение осуществляется за счет действия пондеромоторной силы электромагнитного происхождения, возникающей в электролите, помещенном в скрещенные электрические и магнитные поля;

– МГС-сепарация, в которой разделение осуществляется за счет действия пондеромоторной силы магнитного происхождения, возникающей в магнитной жидкости, помещенной в неоднородное магнитное поле.

Отличительной особенностью МГС-сепарации является то, что разделение минералов осуществляется в объеме парамагнитной жидкости (раствор  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{MnCl}_2$  и др.), помещенной в неоднородное маг-

нитное поле. Электрический ток через жидкость (как это имеет место при МГД-сепарации) не пропускается.

Разделение минералов при МГС-сепарации происходит в магнитном поле с градиентом напряженности, направленным вниз. Поэтому перед обогащением необходимо предварительное выделение всех магнитных минералов. Крупность обогащаемого материала до 1 мм.

Процессы МГД- и МГС-сепарации подразделяют на статические и динамические.

Статические процессы протекают в условиях действия постоянной по времени пондеромоторной силы, динамические – в условиях переменной. Оба процесса могут быть реализованы в аппаратах как с перменной пондеромоторной силой, обеспечивающей выделение нескольких продуктов обогащения, так и в аппаратах с постоянной пондеромоторной силой с получением двух продуктов разделения. Схемы установок для МГД- и МГС-сепараций приведены на рис. 4.2.

В практике обогащения золотосодержащих песков методы МГД- и МГС-сепарации применяются только при доводке гравитационных концентратов. Исследования по оценке эффективности применения МГД- и МГС-сепарации для обогащения золотосодержащих песков проводились в институте ОАО «Иргиредмет», ЦНИГРИ. По данным ЦНИГРИ [80], при обработке на МГС-сепараторе пробы крупностью  $-0,1 + 0,07$  мм представляется возможным выделить фракции с содержанием 98...99 % минералов галенита, пирита, арсенопирита, золота.

Возможность использования МГС-сепарации для доводки шлиховых концентратов исследовалась на пробе концентрата одной из драг Урала. Установлена возможность извлечения в концентрат из шлиховой фракции золотин крупностью  $-1 + 0,04$  мм до 98,9 %.

Сепарационный комплекс на основе магнитожидкого сепаратора наиболее широко используется при доводке золота в ШОУ (рис. 4.3) [16, 102, 121].

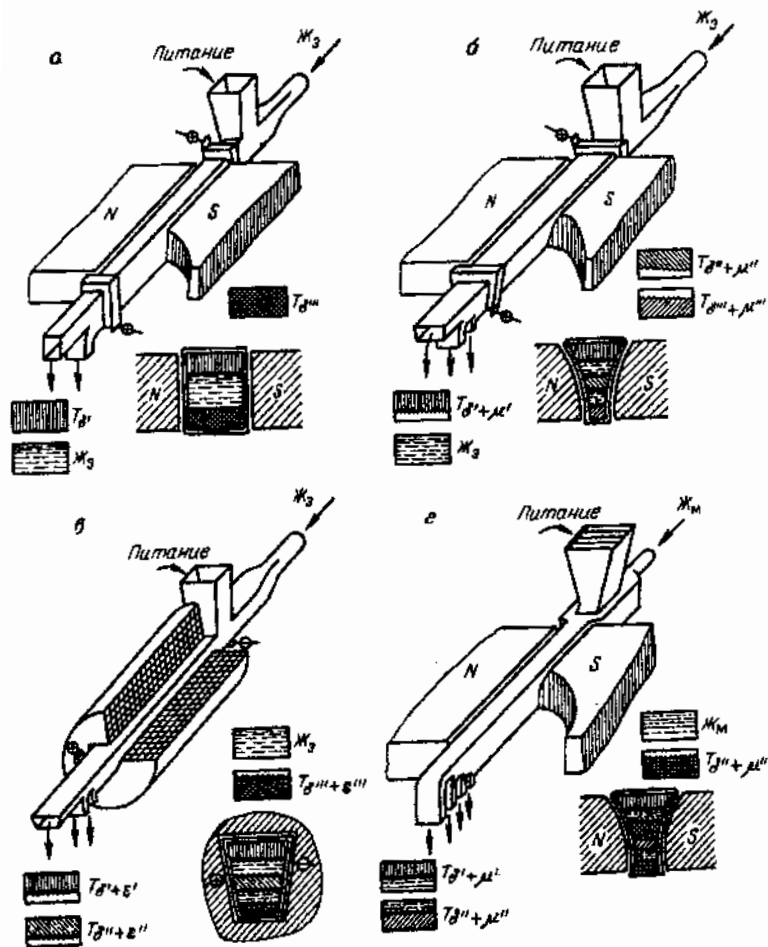
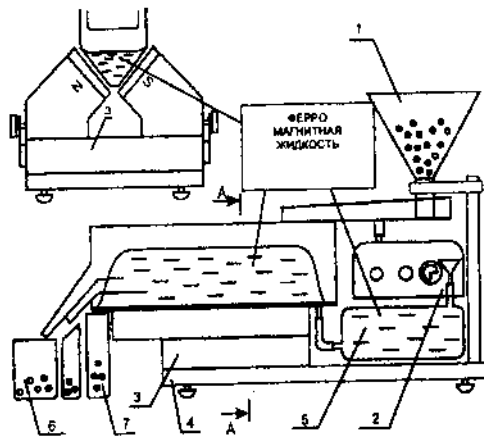


Рис. 4.2. Схемы установок для МГД- и МФС-сепараций:

а – разделение по плотности; б – разделение по плотности и магнитным свойствам; в – разделение по плотности и электрическим свойствам; г – разделение по плотности и магнитным свойствам в магнитной жидкости; Ж<sub>з</sub> – электролит; Ж<sub>м</sub> – магнитная жидкость; Т<sub>δ</sub> – легкий продукт; Т<sub>δ'</sub> – тяжелый продукт; Т<sub>δ'+μ'</sub> – легкий слабомагнитный продукт; Т<sub>δ'+μ''</sub> – средний по плотности со среднемагнитными свойствами продукт; Т<sub>δ'+μ'''</sub> – тяжелый продукт сильномагнитный; Т<sub>δ'+ε</sub> – легкий продукт с пониженной диэлектрической проницаемостью; Т<sub>δ'+ε'</sub> – средний по плотности продукт средней диэлектрической проницаемостью; Т<sub>δ'+ε''</sub> – тяжелый продукт с повышенной диэлектрической проницаемостью



**Рис. 4.3. Магнитожидкостный сепаратор:**

1 – приемного бункера; 2 – регулировочный блок; 3 – сепарационная камера;  
4 – опорная конструкция; 5 – магнитная жидкость; 6, 7 – приемники продуктов  
сепарации

Оптимизация режима сепарации, в зависимости от вещественного состава исходного сырья, осуществляется регулировкой параметров магнитного поля в рабочем пространстве и интенсивности колебаний сепарационной камеры. Регулировку выполняют изменением угла раствора и расстояния между полюсами магнитной системы. Регулировка режима вибрации обеспечивается величиной тока в катушках электромагнитного вибратора. Дополнительным регулировочным параметром является концентрация ферромагнитной жидкости, которая контролируется по ее физической плотности. Предельная крупность извлекаемых частиц в сепараторе 0,2...0,5 мм.

### **4.3. Магнито-флокуляционная сепарация**

Известное геохимическое средство золота и железа определяет одновременное их присутствие в россыпях, что позволяет создавать самогенерирующиеся структуры – постели путем магнитной флокуляции магнетита и других магнитных минералов, содержащихся в

россыпях. При отсутствии, либо недостаточном количестве магнитных минералов, улавливающая среда создается с использованием различного типа ферромагнитного материала (шары, стержни, металлический скраб и стружка и т.д.) [87].

Проведенный теоретический анализ физических свойств сред в процессе МФ-сепарации золотосодержащих песков показал, что значительная часть мелкого и тонкого золота, будучи связана с минералами железа, обладает магнитными свойствами. Кроме того, золото относится к числу элементов, которые проявляют свойства парамагнетиков, когда один или несколько атомов находятся в соединении с другими элементами, что обуславливает возможность его извлечения в неоднородном магнитном поле. Этому также способствуют полиградиентные свойства сфлукулированного слоя из ферромагнитных частиц, проявление немагнитными частицами в водной среде свойств парамагнетиков, электродинамическое торможение электропроводных частиц золота, зависимость реологических свойств пульпы и гидродинамики потока от величин и взаимной ориентации магнитного и сдвигового полей.

К настоящему времени известен ряд технических решений по магнито-флокуляционному извлечению золота и других тяжелых немагнитных минералов с помощью специальных устройств [22, 27, 28, 35].

Накоплен значительный положительный опыт применения МФ-сепарации при переработке различных золотосодержащих продуктов на разных стадиях его обогащения. МФ-сепарация используется как в качестве основной операции при переработке золотосодержащих песков с мелким золотом, так и в качестве дополнительной операции для доизвлечения мелкого и тонкого золота из эфелей промывочных установок (шпозов глубокого и мелкого наполнения) и доводки концентратов. При этом установлено, что наиболее эффективным является процесс МФ-сепарации, осуществляемый с самогенерацией осадительной структуры при наличии магнетита в перерабатываемых песках [28].

При магнитной флокуляции магнетит-золотосодержащих песков первоначально осуществляют направленное формирование агрегатов флокул путем регулирования  $H \text{ grad } H$  и количество магнетита в зоне разделения минеральных частиц. Флокулы формируют из магнитных частиц (сростков, золота «в рубашке», слабомагнитных минералов). При этом помимо магнитного удерживания частиц наблюдается механический захват золота формируемыми флокулами.

Варианты аппаратного оформления узла – МФ-сепарации применительно к подвижным шлюзам показаны на рис. 4.4.

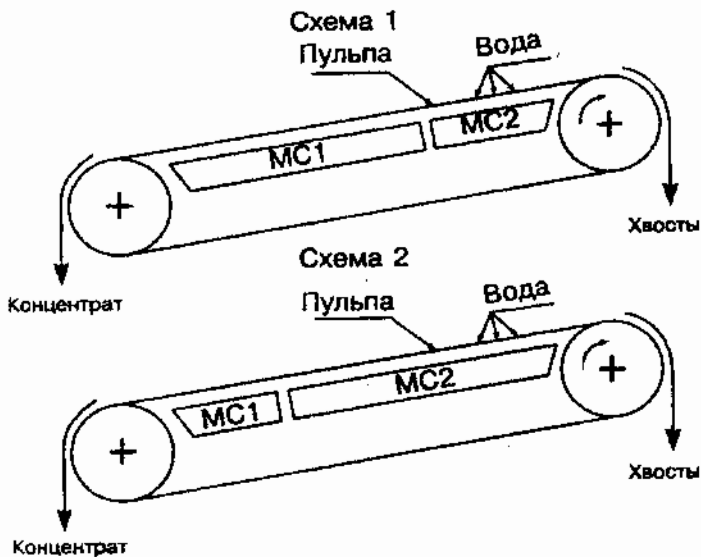


Рис. 4.4. Варианты аппаратного оформления узла МФ-сепарации

Развитие метода магнитно-флокуляционной сепарации получает все большее распространение на объектах золотодобычи [65]. С этой целью уже разработаны, изготовлены и испытаны пять модификаций концентратор-приставок модульного типа [28]: КГМФ-1, КГМФ-2, КГМФ-3, КГМФ-4, КГМФ-5, устанавливаемых по направлению транспортируемого потока шлюзовых аппаратов (рис. 4.5).

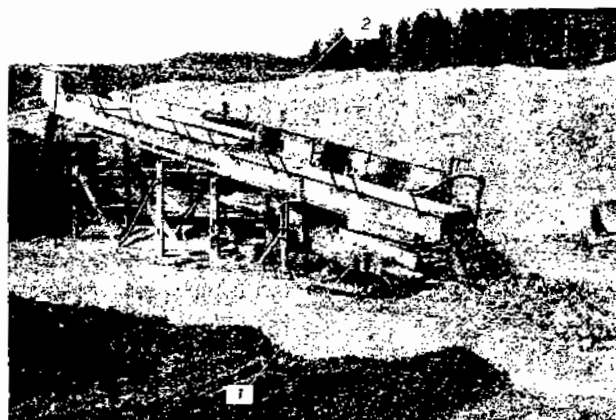


Рис. 4.5. Общий вид промприбора, оснащенный концентратом типа КПМФ

Рабочая поверхность концентратор-приставок выполняется из немагнитной стали. Под дном шлюза располагают магнитную систему, представляющую собой ряды магнитных блоков чередующейся полярности, закрепленных на магнитопроводном ярме из ферромагнитной стали. При этом для предотвращения попадания на магнитные блоки посторонних предметов они снабжены предохранительным кожухом из немагнитной стали. Напряженность магнитного поля на рабочей поверхности концентратора составляет порядка 120..130 кА/м.

Концентраторы типа КПМФ, испытанные в Читинской области, Бурятии, Амурской области, артели старателей «Чукотка» в условиях работы промприборов и драг, показали высокую эксплуатационную надежность [28]. Промышленные испытания магнито-флокуляционного метода с целью извлечения мелкого золота на объектах Саха Якутии подтвердили перспективу развития этого направления.

Достоинствами МФ-концентраторов является простота и низкие капитальные затраты при их изготовлении и установке. Они не требуют индивидуальной настройки и постоянного обслуживания.



### **Контрольные вопросы**

1. Дайте характеристику комбинированных методов обогащения золотосодержащих песков.
2. Каковы существенные особенности отсадочно-центробежной сепарации и в чем заключается ее отличие от других методов обогащения?
3. В чем заключается сущность МГД- и МГС-сепарации? Опишите конструктивные особенности и аппаратурное оформление этих процессов.
4. В чем заключается сущность МФ-сепарации золотосодержащего минерального сырья.
5. Опишите аппаратурное оформление и конструктивные особенности МФ-сепарации.
6. Назовите факторы, определяющие эффективность процесса МФ-сепарации.

### **Рекомендуемая литература**

1. Бочаров В.А. Технология обогащения золотосодержащего сырья: учеб. пособие для вузов / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина. – М.: Руда и металлы, 2003. – 408 с.
2. Золотодобыча России XIX-XX веков и современные технологии причиненного ею экологического ущерба / В.В. Кармазин, В.П. Мязин, О.И. Рыбакова, В.А. Измалков, С.Б. Татауров. – М.: Науч.-техн. центр «Горно-обогат. модульные установки», 2000. – 39 с.
3. Ковлеков И.И. Техногенное золото Якутии / И.И. Ковлеков. – М.: Изд-во МГГУ, 2002. – 303 с.
4. Шохин В.Н. Гравитационные методы обогащения: Учебник для вузов / В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1993.

## 5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ

### 5.1. Амальгамация

Амальгамационный метод извлечения золота основан на способности ртути избирательно смачивать зерна золота. При этом физико-химическая система «золото-ртуть» образует сложное соединение – амальгаму.

Технологию обработки золотосодержащих россыпей с использованием ртути на улавливающих покрытиях гравитационных аппаратов применяли до 1988 г. [22].

В связи с вредным воздействием паров ртути на организм человека и экологическую обстановку в районе ведения горных работ применение амальгамационного метода извлечения золота было запрещено.

### 5.2. Флотация

Возможность применения флотации для извлечения золота из россыпных месторождений привлекает внимание ученых, начиная с 30-х гг. [7, 16]. Проведенные исследования показали достаточно высокую эффективность этого метода для извлечения мелкого россыпного золота. По данным ЦНИГРИ, извлечение россыпного золота флотацией из песков крупностью  $-0,315$  мм, содержащих более 1 г/т золота, составило 78,5...83,5 %, при выходе концентрата 4...5 %. При флотации золота из прибрежно-морских россыпей Дальнего Востока, характеризующихся наличием тонких, истертых пластинок золота, извлечение золота крупностью  $-0,3 + 0,2$  мм составило 89,3...90 %, а  $-0,2 + 0,1$  мм – 100 %. В этом случае для интенсификации процесса применялась флотация с носителем. В качестве носителя был использован пирит крупностью 0,05 мм в количестве 2...4 % по массе.

Приведенные данные доказывают возможность применения флотации для эффективного извлечения мелкого золота, но в настоя-

ише время при разработке россыпей этот метод является экономически не выгодным из-за крайне низкого содержания золота в них. Наличие в россыпях большого количества шламистых фракций ухудшает результаты флотации. Кроме того, использование токсичных реагентов создает дополнительные трудности в связи с природоохранной деятельностью. По этим причинам флотационный процесс широкого промышленного применения при разработке россыпных месторождений не получил.

### **5.3. Селективная флокуляция**

Метод селективной флокуляции заключается в избирательной агрегации зерен ценного компонента при адсорбции на них химических реагентов – флокулянтов или коагулянтов с последующим выделением сфлокулированных агрегатов (флокул) на обогатительных аппаратах [33, 56, 71].

Проведенные исследования как в нашей стране, так и за рубежом, показали принципиальную возможность разделения различных минералов методом селективной флокуляции. В ряде случаев данный метод используется в промышленных масштабах как в качестве самостоятельного процесса, так и для повышения эффективности обогащения гравитационными, магнитными и электрическими методами. Практическая реализация селективной флокуляции разнообразна при углеобогащении, обогащении руд железа, олова, меди, нерудных минералов, золотосодержащих россыпей.

Для эффективного выполнения данного процесса необходимо выполнение следующих основных условий:

- осуществление предварительного диспергирования и поддержания во взвешенном состоянии зерен ценного компонента и пустой породы;

- выполнение условий направленной (селективной) адсорбции флокулянта на частицах ценного компонента с образованием флокул;

– выделение образованных флокул из потока.

Диспергирование зерен ценного компонента и пустой породы достигается регулированием  $\xi$ -потенциала, созданием оптимальных гидродинамических режимов, обработкой пульпы ультразвуковым и магнитным полями.

Селективной адсорбции макромолекул флокулянта добиваются путем подготовки поверхности минералов с помощью реагентов. С этой целью используются неорганические электролиты, например,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $NaCl$  и др.

Наиболее перспективным является использование модифицированных селективно адсорбирующихся флокулянтов. Это флокулянты, функциональные группы которых селективно адсорбируются на поверхности определенных минералов.

Выделение селективно сфлокулированных минералов ценного компонента из массопотока осуществляется традиционными методами – гравитацией, магнитной сепарацией, флотацией. Аппаратурное оформление процесса составляют как традиционные аппараты (шлюзы, концентрационные столы, магнитные сепараторы, флотационные машины), так и специально созданные конструкции аппаратов.

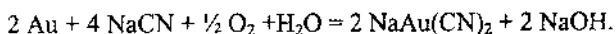
При обогащении золотосодержащих россыпей применение селективной флокуляции позволяет повысить степень извлечения тонкого золота, обычно увлекаемого глинистыми шламами в хвосты при промывке.

Так, например, при содержании в россыпи золота крупностью – 250 мкм в пределах 50 % и тонкодисперсных глинистых шламов в оборотной воде 30...60 г/л применение ППАА (расход 1...2 г/м<sup>3</sup>) и ХП (расход 40...80 г/м<sup>3</sup>) позволяет снизить содержание взвешенных частиц в оборотной воде в 3...10 раз и повысить извлечение металла на 7...9 % [33].

#### 5.4. Цианирование

В практике обогащения россыпью данный метод широкого промышленного применения не получил из-за токсичности применяемых в настоящее время реагентов и высоких эксплуатационных затрат. Этот метод в основном применяется для определения наиболее полного содержания золота в песках и продуктах их переработки при изучении обогатимости, а также в некоторых случаях для доводки черновых концентратов [84].

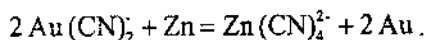
Сущность процесса цианирования заключается в растворении золота щелочными цианистыми растворами:



При цианировании золотосодержащих концентратов используются растворы NaCN и Ca(CN)<sub>2</sub>, реже KCN, щелочную реакцию создают известью.

Растворимость золота в цианистых растворах зависит от следующих факторов: характера золота, минерального состава сырья, физико-химических свойств воды и условий выщелачивания. Сравнительно легко растворяется золото с чистой поверхностью, хуже золото, покрытое плохо растворимыми пленками.

Из растворов золото извлекают сорбцией на ионообменных смолах или активированном угле. Применяется также цементация металлическим цинком:



В настоящее время проводятся исследования по замене токсичных цианистых реагентов на менее токсичные реагенты [103]. В качестве растворителей золота могут применяться йодные и бромистые реагенты. Исследуется возможность бактериального выщелачивания золота. Установлена возможность выщелачивания золота водными белоксодержащими растворами (например, отходами бактериального производства).

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные физико-химические методы, используемые для извлечения золота из песков.
2. В чем заключается сущность амальгамационного метода извлечения золота?
3. Назовите примеры использования флотационных методов обогащения для извлечения золота из песков.
4. В чем заключается сущность метода селективной флокуляции минеральных комплексов?
5. Перечислите факторы, влияющие на эффективность процесса селективной флокуляции минеральных фракций.
6. В чем заключается сущность процесса цианирования? Перечислите основные растворители золота и перспективы их применения.

### **Рекомендуемая литература**

1. Андреева Г.С. Переработка и обогащение полезных ископаемых россыпных месторождений / Г.С. Андреева, С.Я. Горюшкина, В.П. Небера. – М.: Недра, 1992. – 410 с.
2. Бочаров В.А. Технология обогащения золотосодержащего сырья: учеб. пособие для вузов / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина. – М.: Руда и металлы, 2003. – 408 с.
3. Замятин О.В. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О.В. Замятин, А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1975. – 264 с.
4. Золотодобыча России XIX-XX веков и современные технологии причиненного ею экологического ущерба / В.В. Кармазин, В.П. Мязин, О.И. Рыбакова, В.А. Измалков, С.Б. Татауров. – М.: Науч.-техн. центр «Горно-обогат. модульные установки», 2000. – 39 с.
5. Ковалёв А.А. Интенсификация процессов гравитационного обогащения золотосодержащих россыпей / А.А. Ковалёв. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. – 200 с.

6. Мязин В.П. Применение технологии кучного выщелачивания на бедных золоторудных месторождениях Читинской области: учеб. пособие / В.П. Мязин, Р.В. Зайцев. – Чита: ЧитГТУ, 1999. – 109 с.

7. Овсейчук В.А. Геотехнологические методы добычи и переработки урановых и золотосодержащих руд: учеб. пособие / В.А. Овсейчук, Ю.Н. Резник, В.П. Мязин. – Чита: ЧитГУ, 2005. – 315 с.: ил.

## 6. ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

### 6.1. Методология выбора и построения технологических схем

Выбор технологической схемы обогащения золотосодержащих песков и методические принципы их построения зависят от многих факторов. Определяющими из них являются: промывистость песков; минеральный состав песков, содержание в них тяжелых минералов и золота; гранулометрический состав золота, песков, торфов и глин; горно-геологические условия и способ разработки россыпи. Влияние отдельных факторов на эффективность извлечения свободного золота из россыпных месторождений детально рассмотрено в [56]. По значимости отдельных факторов определяющих выбор схемы обогащения песков необходимо выделить эффективность промывки песков и крупность золота. В свою очередь промывистость песков в значительной степени зависит от конструктивных особенностей и типоразмера промывочных устройств (приборов). Выбор технологии промывки золотосодержащих песков [71] в первую очередь зависит от:

- содержания глины в песках, крупности и формы золотинок;
  - использования различных методов предварительной дезинтеграции песков;
  - условий регулирования гидродинамики массопотока в зоне разделения минеральных частиц;
  - оснащения технологических схем классифицирующими и улавливающими гравитационными аппаратами;
  - способов выделения золота по узким классам крупности обогащаемых песков на основе рациональных компоновочных решений и особенностей аппаратного оформления технологических схем.
- Кроме экспериментальных методов выбора технологических схем предложено использовать модельные исследования.

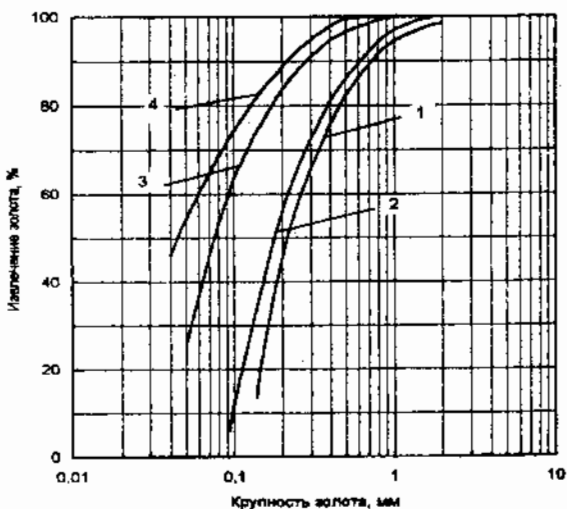
Для моделирования вариантов технологических схем эффективного обогащения песков еще на стадии геологоразведочных работ ин-



ститутом ОАО «Иргиредмет» разработана и создана установка обогащения песковой и илистой фракций в полевых условиях (УОМП). Установка дает возможность получить реальные технологические показатели обогащения песков еще на стадии геологоразведочных работ.

Институтом ОАО «Иргиредмет» также разработаны базовые варианты технологий гравитационного обогащения песков как при дражном способе разработки россыпей, так и открытом с отдельной выемкой песков. В качестве определяющих критериев базовых вариантов технологических схем использована массовая доля мелкого золота в песках и экономическая целесообразность их обогащения [43].

Для обоснования рациональной технологической схемы обогащения песков предложено пользоваться графическими зависимостями, выведенными по данным промышленных испытаний (рис. 6.1) [19, 20, 21].



**Рис. 6.1. Извлечение золота различной крупности при обогащении россыпных месторождений песков:**

*1 – длинные шлюзы глубокого наполнения промприбора типа ПГШ; 2 – короткие шлюзы мелкого наполнения промприбора типа ПГБ; 3 – отсадочная технология; 4 – развитая технология*

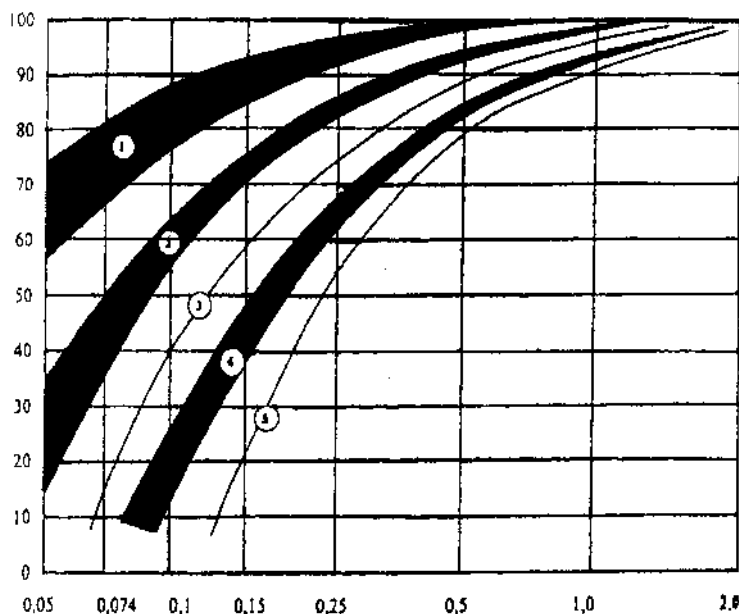
Кардинальным направлением промывки песков с мелким и тонким золотом является применение промывочно-сепарационных комплексов, включающих в себя широкий набор современных гравитационных аппаратов. Для реализации ресурсосберегающего принципа выделения ценного компонента из массопотока минеральных гидросмесей методология построения схем предусматривает первоначальное извлечение крупного, а затем мелкого золота. Комплексы подобного типа должны найти применение и для обогащения техногенных и труднообогатимых россыпей. При этом конструктивные особенности аппаратов промывочных комплексов приобретают особую значимость для гравитационного извлечения золота.

На рис. 6.2 приведена номограмма извлечения золота в зависимости от крупности и реализуемых вариантов технологических схем обогащения песков [19]. Окончательный выбор технологического варианта схем определяется путем сравнения его экономической эффективности переработки конкретного сырья с учетом оптимальной производительности и глубины обогащения (рис. 6.2).

## **6.2. Характеристика промывочных комплексов и модульных установок**

Для обогащения золотосодержащих песков разрабатываемых подземным и открытым способами, применяют различные конструкции промывочных приборов (гидровашгердные, гидроэлеваторные, скрубберные), модульных установок и драг, мини-модульных комплексов (Прил. 4). Большая часть золотосодержащих песков в Российской Федерации перерабатывается на гидроэлеваторных приборах (ПГШ-30; ПГШ-50; ПГШ-75 и ПГБ-1-10000). Широко используются:

- промприборы типа ПБГ – для обогащения песков на шлюзах глубокого и мелкого накопления (дезинтеграция и грохочение песков в барабанных грохотах);



**Рис. 6.2. Зависимость извлечения золота от его крупности при обогащения песков по вариантам технологии:**

1 - с отдельным обогащением песковой и илистой фракции на отсадочных машинах и центробежных аппаратах; 2 - варианты переработки песков крупностью мельче 15-20 мм (отсадкой и промывкой на шлюзах минеральной фракции максимальной крупностью 4-5 мм); 3 - шлюзовый вариант с непрерывным выводом концентрата из песков максимальной крупностью 15-20 мм; 4 - шлюзовый вариант при максимальной крупности песков 15-20 мм; 5 - шлюзовый вариант при максимальной крупности песков до 50 мм

- скрубберные приборы МПД-2, МПД-6, ПКС-1-700 [44];
- промприборы типа ПКС, ПКБШ, ТОК-200 для обогащения песков на шлюзах мелкого наполнения (дезинтеграция и классификация песков в барабанных грохотах и скрубберах);
- промприборы типа ПКБО, ТОК-200-К для обогащения песков на отсадочных машинах (дезинтеграция и классификация песков в скрубберах и барабанных грохотах).
- береговые обогатительные фабрики с развитой технологией обогащения песков на основе применения отсадочных машин и цен-

гробежных концентраторов (дезинтеграция и грохочение песков в барабанных грохотах, классификация в гидроциклонах).

Основными обогатительными аппаратами в этих приборах являются шлюзы. Следует подчеркнуть, что существующие и усовершенствованные конструкции промывочных приборов при необходимости могут быть оборудованы самородкоулавливающими шлюзами, отсадочными машинами, электронными самородкоуловителями для извлечения крупного золота, а для сокращения потерь мелкого золота – отсадочными машинами, концентрационными столами и центробежными концентраторами и другим современным оборудованием [6, 20, 44, 45, 91].

Гидрозлеваторные приборы типа ПГШ и землесосные промывочные приборы с одностадийной схемой обогащения применяют на легко- и среднепромывистых песках с крупным золотом и рельефом местности, благоприятствующим самотечному размещению хвостов промывки. По данным опробования ВНИИ-1, потери золота на этих приборах на промывке песков с крупным золотом составляют в среднем 5 %, с золотом средней крупности – 9 %, с мелким золотом более 20 %. В последнее время разработаны гидрозлеваторные промывочные приборы с самородкоулавливателем, позволяющие выделить из золотосодержащих песков самородки. Устройство промприбора для извлечения самородков и реализуемая технологическая схема с использованием двойной классификации песков [79] представлены на рис. 6.3, 6.4.

Необходимость появления комплексов со сложной развитой технологической схемой обогащения, сочетающей различные методы и аппараты, объясняется высокими потерями золота при промывке россыпей с мелким и тонким золотом. По данным ЦНИГРИ, средняя крупность золота в песках для открытого и дражного способов разработки в ряде регионов снизилась в 2,5...3 раза, и составляет около 0,3 мм.

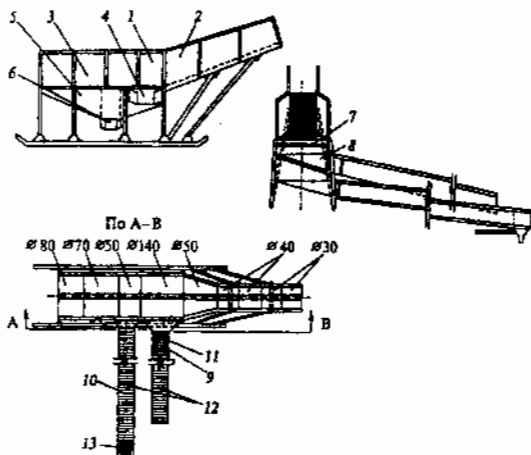


Рис. 6.3. Конструкция промывочного прибора с самородкоуловителем:  
 1 – гидровашгерд; 2 – наклонная секция; 3 – приемный бункер;  
 4 – гидровашгердный лоток; 5 – ванна гидровашгерда; 6 – ванна приемник;  
 7 – классификационные решетки; 8 – грохот; 9 – шлюз самородкоуловитель;  
 10 – основной шлюз; 11 – трафареты; 12 – трафареты лестничного типа;  
 13 – гидравлические ловушки

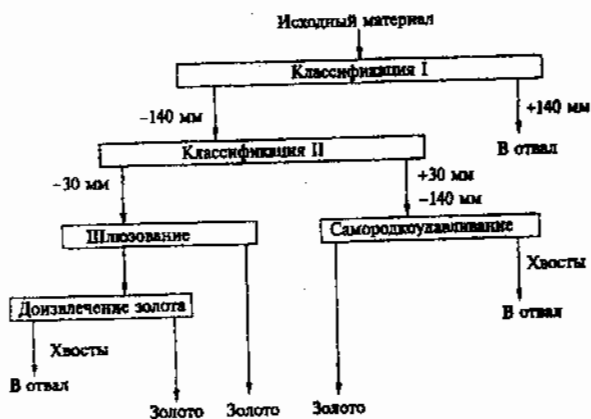


Рис. 6.4. Технологическая схема работы промывочного прибора с самородкоуловителем

Вовлечение в промышленное освоение нетрадиционных источников и россыпей с мелким золотом возможно только при использовании более эффективных, чем существующие, технологий и обогащательных аппаратов. Так, например, на базе промывочного прибора ПШ-50 разработан промывочно-сепарационный комплекс. Комплекс включает в себя каскад гравитационных аппаратов: гидромонитор, промывочный стол, шлюз глубокого наполнения, колосниковый грохот, обезвоживающий бункер, отсадочные машины, концентрационные столы, центробежный концентратор. Подобного типа комплексы могут также применяться и для обогащения техногенных россыпей.

Обогащательные комплексы для промывки песков с крупными валунами дополнительно оснащаются тяжелыми грохотами (валуноотделителями), что позволяет увеличить производительность прибора в 2-2,4 раза [129]. Большинство обогащательных комплексов при всем их многообразии оснащаются шлюзами. Однако ленточные шлюзы и шлюзы непрерывной разгрузки концентрата (ШНРК) ввиду их низкой надежности не получили практического внедрения. Поэтому большинство транспортно-обогащательных комплексов оснащаются механическими самосполаскивающими шлюзами ШМС, которые позволяют механизировать сполоск концентрата с улавливающей поверхности [58, 82, 121].

Для извлечения мелкого золота транспортно-обогащательные комплексы дополнительно оснащаются подшлюзками мелкого накопления, отсадочными и центробежными модулями. Наиболее эффективное выделение золота из песков после их дезинтеграции при обогащении по узким классам крупности [42, 49, 56, 80].

Промывочные приборы могут оснащаться различными отсадочными машинами, концентрационными столами, центробежными концентраторами, виброшлюзами и другим оборудованием. В практике золотодобычи широко используется оборудование как стационарного, так и модульного типа, позволяющее реализовывать внедрение развитых комбинированных технологических схем [33, 35, 44, 45, 47, 112].

Сборку отдельных модулей в единую законченную установку

для промывки золота называют модульной. Модульные промывочные приборы имеют существенное преимущество перед стационарными обогатительными установками [76]: мобильность, быстрая разборка и сборка оборудования для реализации требуемого варианта технологических схем.

Практика освоения мелких и средних месторождений золота показывает [1, 3, 17, 28, 58, 73, 101], что за модульными промывочными устройствами будущее. Основная идея использования сборно-разборных установок на предприятиях рудной золотодобычи [112] может быть успешно перенесена на объекты россыпной металлодобычи. Для прогнозирования технологических потерь мелкого золота (класс крупности  $-0,1$  мм) в транспортно-обогатительных комплексах ОАО «Игриредмет» разработана для практического использования специальная номограмма (рис. 6.5)

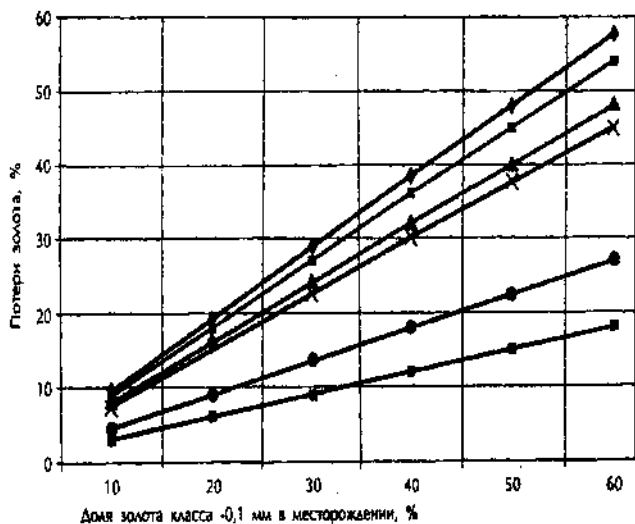


Рис. 6.5. Потери золота в транспортно-обогатительных комплексах при различной доле тонкого золота в песках:

- ◆ шлозовая технология ШГН; ● шлозовая технология ШМН;
- ▲ шлозовая технология ШНРК; ✕ схемы обогащения на отсадочных машинах;
- развитая отсадочная технология обогащения;
- центробежная технология обогащения

### 6.3. Технология обогащения легкообогатимого золотосодержащего сырья

Традиционными схемами обогащения легкообогатимых металлоносных песков на промывочных приборах и драгах были и остаются гравитационные схемы с использованием шлюзов в качестве основного обогатительного оборудования (рис. 6.6, 6.7).

На практике широкое применение получили гидравлические приборы типа ПГШ и их разновидности. На рис. 6.8-6.9 приведены схемы цепи аппаратов промприборов по шлюзовой технологии обогащения песков.

На рис. 6.10 приведена схема обогащения песков на драге со стационарными шлюзами. Принципиальная технология обогащения песков на драге включает следующие операции: дезинтеграцию, классификацию, основную концентрацию и доводку шлиховой фракции. Исходные пески предварительно дезинтегрируют и классифицируют по крупности в барабанном грохоте с перфорацией 8, 10, 12, 14, 16 и 18 мм. Подрешетный продукт поступает на поперечные стационарные шлюзы, которые располагаются в один или несколько ярусов. Для дополнительного улавливания золота хвосты поперечных шлюзов поступают на продольные шлюзы. Общая площадь шлюзов определяется конструктивными особенностями драг и составляет 25...551 м<sup>2</sup>. В отдельных случаях для извлечения крупного золота последний став барабанного грохота выполняют с отверстиями 40...100 мм и подрешетный продукт обогащают на шлюзах глубокого наполнения. Концентрат шлюзов обогащают на доводочном шлюзе.

Применение на большинстве драгах и промприборах шлюзов с жестким улавливающим покрытием, без учета крупности золота и вещественного состава песков, приводит к существенным потерям мелкого золота. Шлюзы относятся к числу эффективных при высоком процентном содержании в песках крупного золота. Данные практики по оценке уровня извлечения золота на драгах со стационарными шлюзами приведены в табл. 6.1.



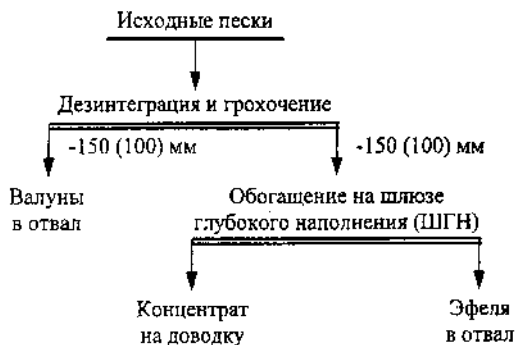


Рис. 6.6. Одностадийная схема обогащения золотосодержащих песков

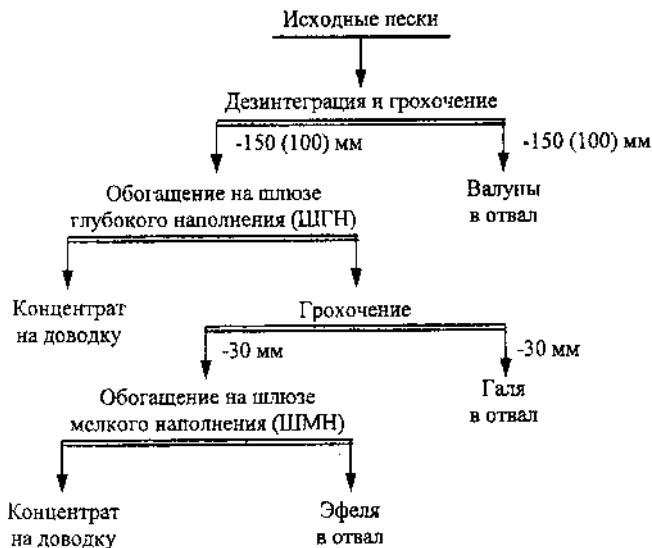


Рис. 6.7. Двухстадийная схема обогащения песков

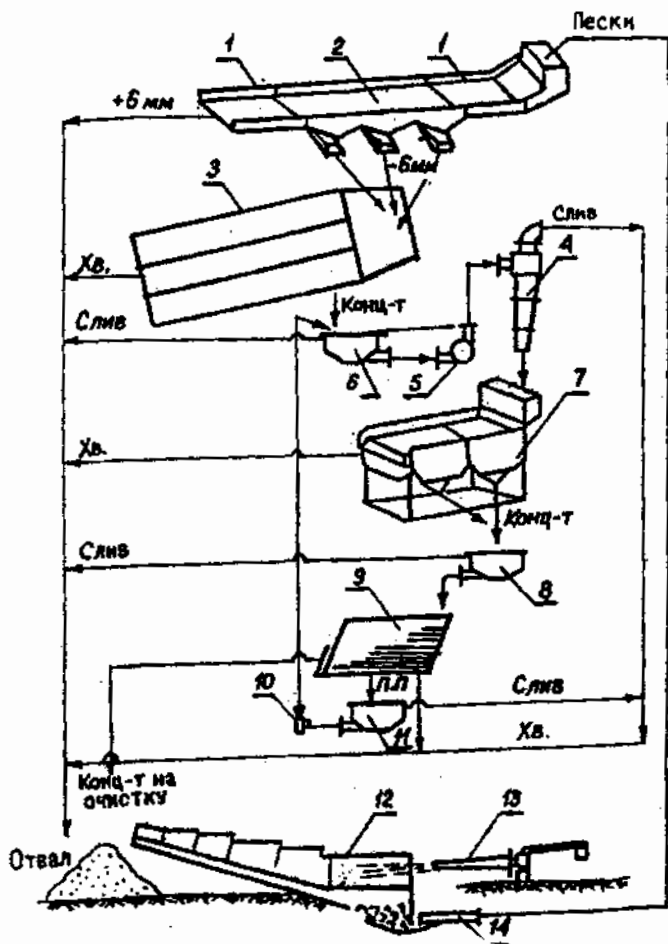


Рис. 6.8. Схема цепи аппаратов бескрубберного промприбора со шлюзовой технологией обогащения песков ПГОИ-50:

- 1 - шлюз глубокого наполнения; 2 - гидравлический грохот; 3 - шлюзы мелкого наполнения; 4 - гидроциклон ГЦ-150; 5 - насос ГрТ50/16; 6, 8, 11 - бункеры; 7 - отсадочная машина МОД-1М; 9 - концентрационный стол СКО-7,5 (СКО-2); 10, 14 - гидроэлеваторы; 12 - гидровайгер; 13 - гидромонитор

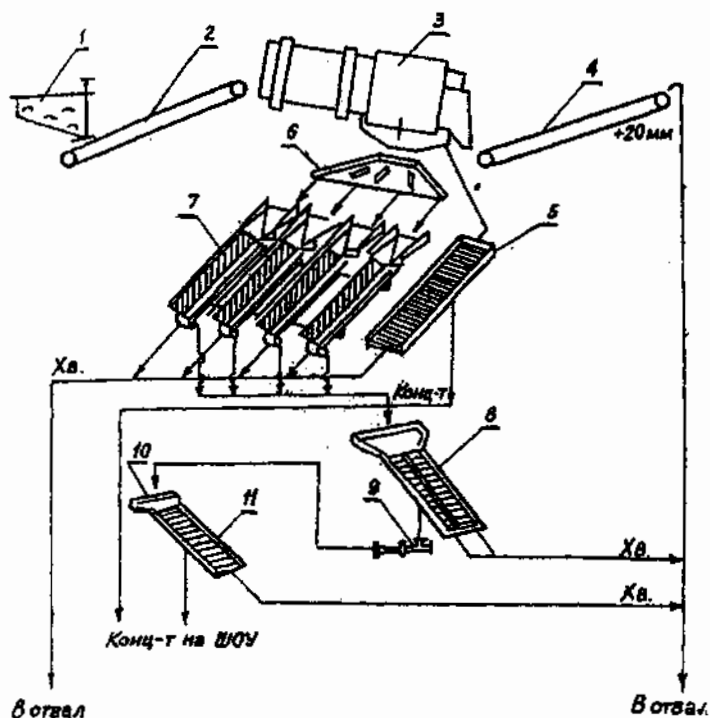


Рис. 6.9. Промприбор типа ПБК с непрерывной разгрузкой концентрата: 1 – бункер-питатель конвейерный БПК-1000; 2 – конвейер ленточный КЛПК-1000; 3 – грохот-дезинтегратор бочечный ГДБ-20/50; 4 – отвалообразователь ОЗП-800; 5 – шлюз глубокого наполнения; 6 – распределительный лоток; 7 – шлюзы ШНРК; 8 – шлюзы мелкого наполнения; 9 – гидрозлеватор; 10 – загрузочное устройство; 11 – шлюз доводочный

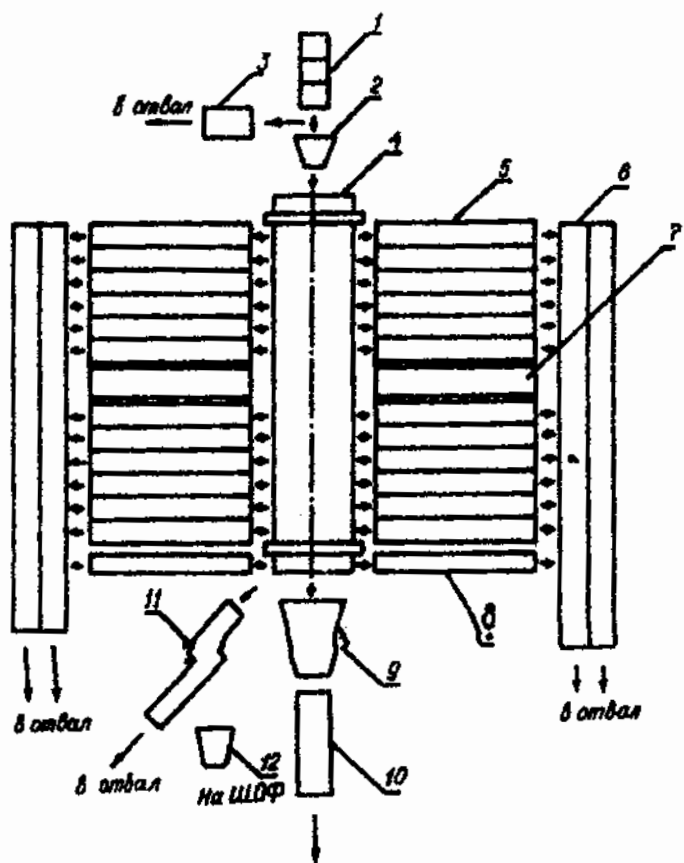


Рис. 6.10. Схема цепи аппаратов драги со стационарными шлюзами:  
 1 – черпаковая цепь; 2 – завалочный люк; 3 – подчерпаковый уловитель;  
 4 – барабанный грохот (дражная бочка); 5 – поперечные шлюзы; 6 – продольные,  
 шлюзы; 7 – устройство для сполоска концентрата; 8 – шлюз глубокого  
 наполнения; 9 – галечный лоток; 10 – конвейер для гали; 11 – доводочный шлюз;  
 12 – емкость для концентрата

Извлечение золота на драгах

Мощность драги	Условия работы			Извлечение золота, %	
	Содержание золота в классе -0,25 мм	Средняя нагрузка $M^3(M^2 \cdot ч)$	Ж:Г	Поперечными шлюзами	Продольными шлюзами
380	7,3	0,5	15:1	86,7	7,0
	6,1	0,7	13:1	88,0	4,4
250	29,7	1,1	18:1	70,2	1,4
210	10,4	0,7	14:1	83,3	6,8
	19,6	0,8	16:1	83,9	2,8
150	19,7	0,5	15:1	71,2	4,3

Извлечение золота на драгах при шлюзовом варианте схем составляет:

– 88...93 % для песков с содержанием мелкого золота (- 0,25 мм) до 7 %;

– 58...85 % для песков с содержанием мелкого золота до 30...35 % [3].

Перспективным направлением повышения эффективности шлюзовых схем является:

– введение операций предварительного грохочения и классификации песков по узким классам крупности с последующим обогащением их при оптимальных гидродинамических режимах;

– применение шлюзов с непрерывной разгрузкой концентрата (ШНРК);

– использование двухстадиальных схем обогащения на шлюзах глубокого и мелкого наполнения.

В настоящее время разработано несколько типов шлюзов с механизированным сполоском концентрата [121]: подвижные металлические (ШМС), с подвижным резиновым покрытием (ШПРП), поворотные и вращающиеся шлюзы с подвижным улавливающим покрытием, шлюзы с двухсторонним улавливающим покрытием.

На рис. 6.11 и 6.12 приведены схема обогащения с подвижными металлическими шлюзами и схема обогащения с применением шлюзов с подвижным резиновым покрытием.

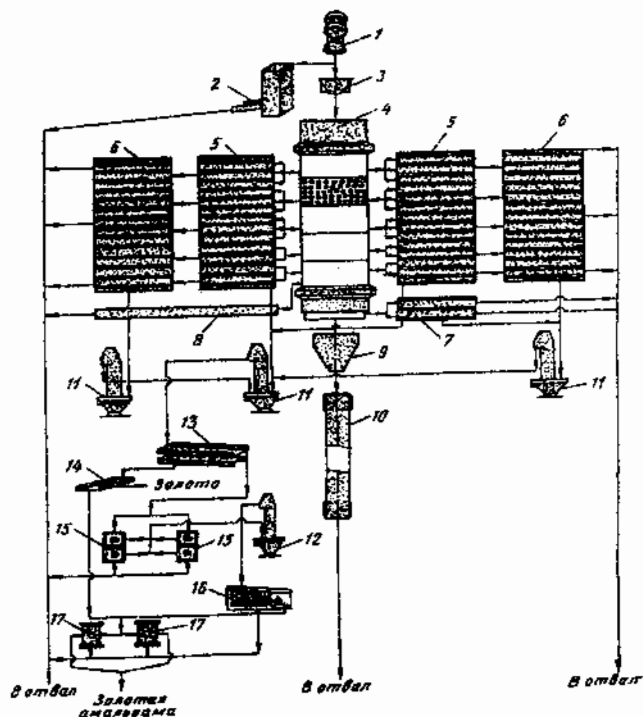
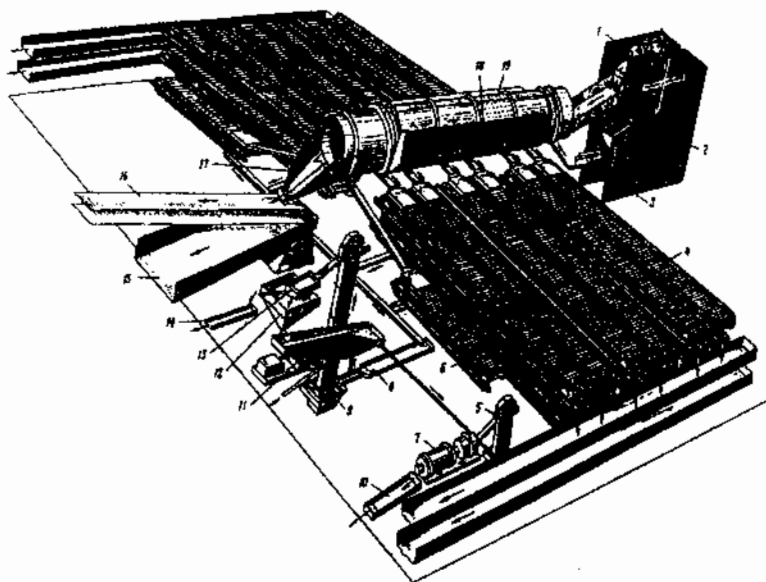


Рис. 6.11. Схема цепи аппаратов драги с подвижными металлическими шлюзами:

- 1 – черпаковая цепь; 2 – подчерпаковый уловитель; 3 – завалочный лок;  
 4 – грохот (барабанная бочка); 5 – головная секция подвижных металлических шлюзов; 6 – хвостовая секция подвижных металлических шлюзов; 7 – шлюзы шестого става; 8 – саморегулирующийся шлюз; 9 – галечный лоток;  
 10 – конвейер для галли; 11 – элеватор ЭЛМ-250; 12 – элеватор ЭЛМ-90;  
 13 – доводочный шлюз; 14 – вашигерд; 15 – отсадочная машина ОВМ-3;  
 16 – концентрационный стол; 17 – амальгамационная установка



**Рис. 6.12. Схема цепи аппаратов драги с применением шлюзов с подвижным резиновым покрытием:**

- 1 - завалочный люк; 2 - колосниковый грохот; 3 - грохот; 4 - основные шлюзы с подвижным резиновым покрытием; 5 - элеватор ленточный; 6 - саморегулирующиеся шлюзы; 7 - амальгамационная установка; 8 - шлюз для улавливания крупного металла; 9 - элеватор ленточный; 10 - амальгамационный шлюз; 11 - стол концентраторный; 12 - бункер обезвоживающий; 13 - грохот вибрационный; 14 - шлюз контрольный; 15 - подстакерный лоток; 16 - конвейер галечный; 17 - галечный лоток; 18 - распределитель; 19 - барабанный грохот (дражная бочка)

Следует отметить, что шлюзы новой конструкции с механизированным сполоском концентрата испытаны и успешно эксплуатируются на драгах и промприборах. Их применение повысило извлечение золота на 5...9 % по сравнению с традиционной шлюзовой технологией, а также позволяет полностью исключить ручной труд при сполоске шлюзовых концентратов.

Применение схем с предварительной классификацией и раздельным обогащением фракций позволяет извлекать золото крупно-

стью менее 0,25 мм до 50...60 %. Тем не менее, проблема извлечения мелкого золота требует дальнейшего решения. Неизбежные потери мелкого золота при обогащении на шлюзах, даже в условиях оптимальных режимов их работы, свидетельствует о недостаточной эффективности шлюзовой технологии для извлечения мелких классов золота.

#### 6.4. Технология обогащения труднообогатимых золотосодержащих песков

Одним из перспективных направлений, позволяющих увеличить эффективность извлечения труднообогатимых классов золота, является применение комбинированных схем обогащения с использованием в качестве основного оборудования шлюзов, отсадочных машин, винтовых и центробежных сепараторов и других машин.

Наиболее часто из комбинированных схем обогащения применяют шлюзо-отсадочные (рис. 6.13). Наиболее распространенный вариант применения отсадки на драгах – установка отсадочных машин для обогащения хвостов поперечных шлюзов (рис. 6.13, а).

Данная схема рекомендуется для обогащения россыпей, содержащих 12...25 % золота крупностью  $-0,25$  мм. Результаты извлечения золота на драгах, в зависимости от содержания мелких классов в отрабатываемых песках, приведены в табл. 6.2 [82].

Т а б л и ц а 6 . 2

Результаты извлечения золота по шлюзо-отсадочной схеме

Мощность драги, л	Количество мелкого золота, %, крупностью, мм		Площадь, м <sup>2</sup>		Извлечение, %		
	-0,25+0,15	-0,15	шлюзов	отсадки	шлюзами	отсадкой	общее
210	10,3	18,4	112	24	83,3	9,7	93,0
250	16,5	8,1	145	32	73,6	15,2	88,8
210	10,4	12,1	112	24	81,0	10,5	91,5
210	18,3	9,6	112	24	74,9	17,6	92,5





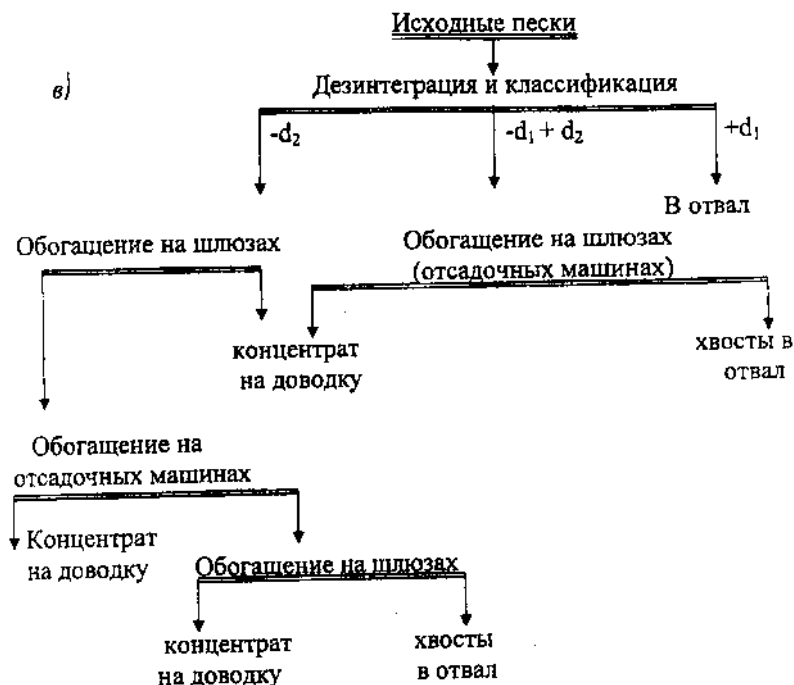


Рис. 6.13. Шлюзо-отсадочные схемы обогащения золотосодержащих россыпей:

*а* – последовательная шлюзо-отсадочная схема;

*б* – параллельно шлюзо-отсадочная схема;

*в* – параллельно-последовательная шлюзо-отсадочная схема

Для обогащения песков с большой массовой долей мелкого и тонкого золота институтом ОАО «Иргиредмет» разработана отсадочная технология обогащения (прямая отсадка песков крупностью  $-15 \dots -20$  мм с предварительной дезинтеграцией и грохочением песков в скруббер-бутарах и барабанных грохотах (дражных бочках), в том числе с использованием, для предконцентрации, шлюзов с непрерывной разгрузкой концентрата (рис. 6.14).

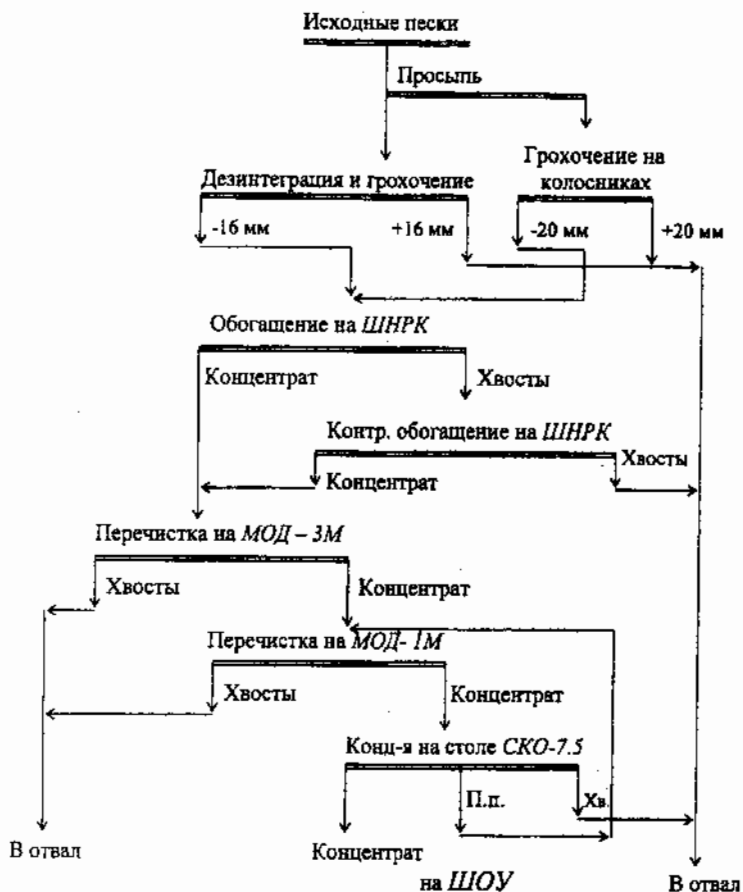


Рис. 6.14. Принципиальная схема обогащения песков с использованием шлюзов ШНРК

Схемы цепи аппаратов драги и промприборов с отсадочной технологией обогащения песков представлена на рис. 6.15-6.17.

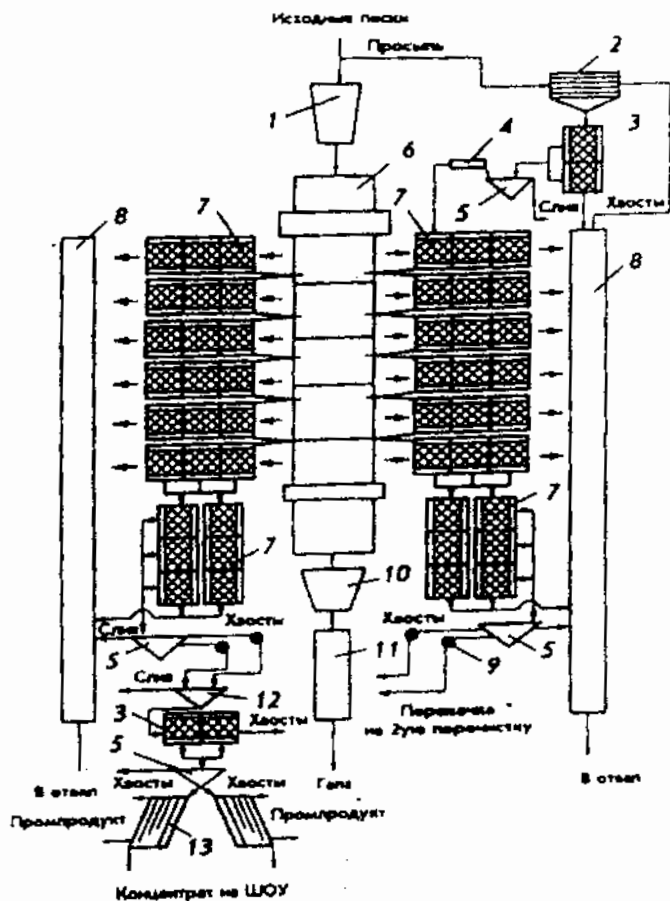


Рис. 6.15. Схема отсадочной технологии обогащения на драге с черпаками емкостью 250 л:

- 1 – загрузочное устройство; 2 – колосниковый грохот; 3 – отсадочная машина МОД-1; 4 – гидрозлеватор; 5 – бункер-накопитель; 6 – барабанный грохот (дражная бочка); 7 – машины МОД-3М; 8 – хвостовая колода; 9 – песковый насос; 10 – галечный лоток; 11 – галечный конвейер; 12 – бункер-обезвоживатель; 13 – концентрационный стол

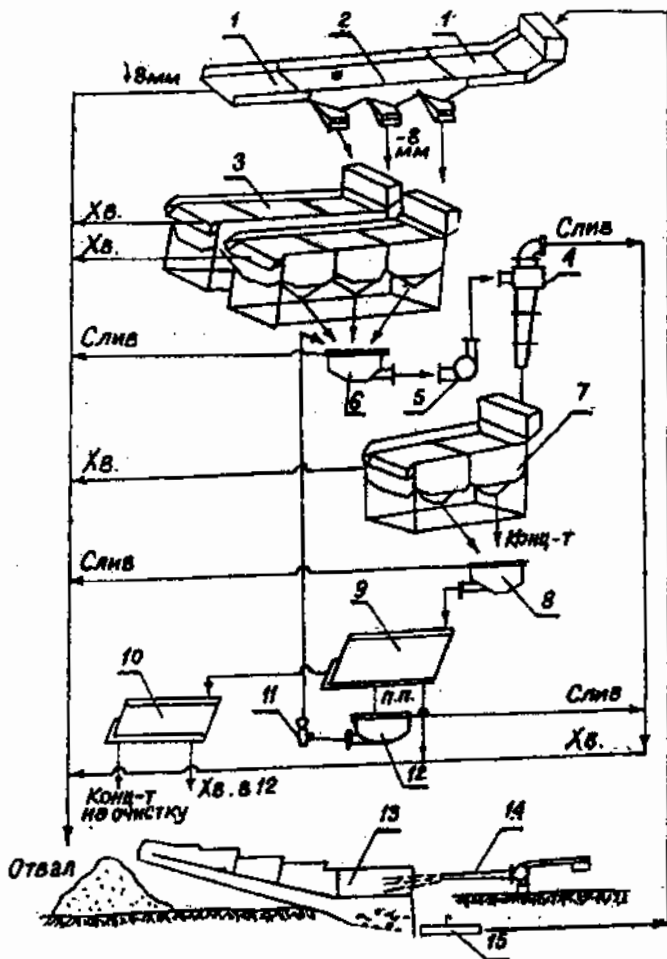


Рис. 6.16. Схема цепи аппаратов промприбора с отсадочной технологией обогащения золотосодержащих песков (вариант 1):

- 1 – шлюз глубокого наполнения; 2 – грохот гидравлический; 3 – отсадочная машина МОД-2М; 4 – гидроциклон ГЦ-150; 5 – насос ГРТ50/16; 6, 8, 12 – бункеры; 7 – отсадочная машина МОД-1М; 9 – концентрационный стол СКО-7,5; 10 – концентрационный стол СКО-2; 11, 15 – гидрозлеваторы; 13 – гидровашгерд; 14 – гидромонитор

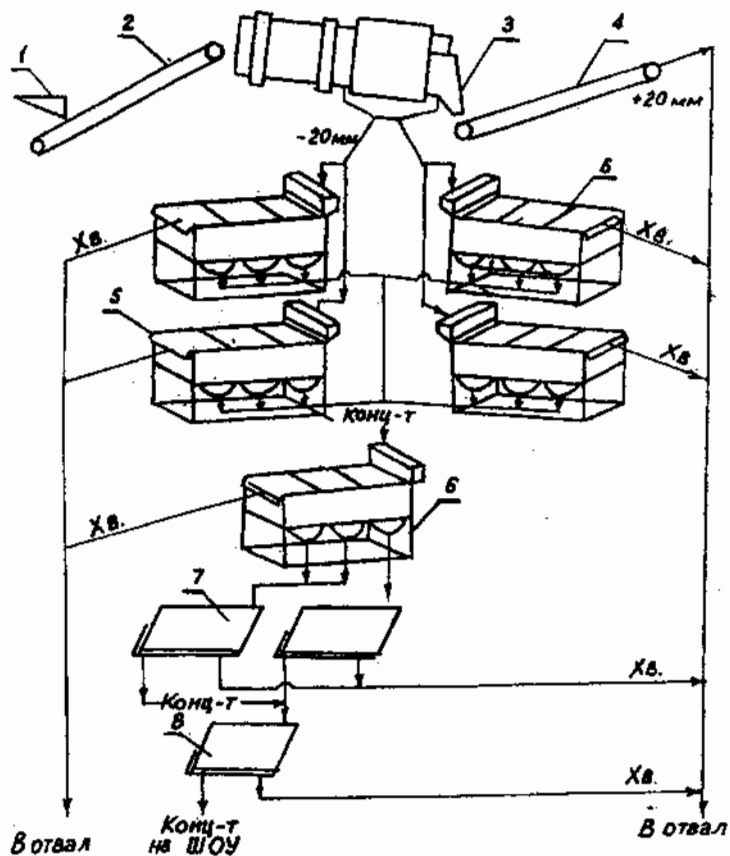


Рис. 6.17. Схема цепи аппаратов промприбора с отсадочной технологией обогащения золотосодержащих песков (вариант 2);

1 – бункер-питатель конвейерный БПК-1000; 2 – конвейер ленточный КЛПК-1000; 3 – грохот-дизинтегратор бочечный ГДБ-20/50; 4 – отвалообразователь ОЗП-800; 5, 6 – отсадочные машины МОД-3М («Труд-3»); 7 – концентрационный стол СКО-7,5; 8 – концентрационный стол СКО-2

Такие технологии на базе отсадочных машин МОД-3М и МОД-2М внедрены на драгах Приамурья, Якутии, Забайкалья, а также при открытом способе разработки россыпей с отдельной выемкой песков, в том числе и техногенных. Прирост извлечения золота по сравнению с обычной шлюзовой технологией составил 30 % [43].

Для повышения эффективности извлечения золота и надежности отсадочных машин НТЦ ГОМ и ОАО «Завод Труд» (г. Новосибирск) разработаны высокопроизводительные пневмомеханические отсадочные машины. Созданы специально для обогащения россыпей опытные образцы диафрагмовых отсадочных машин «Труд-12» с подвижным решетом и радиальным движением пульпы.

Зарубежные фирмы выпускают более 20 типов отсадочных машин производительностью до 350 м<sup>3</sup>/час [4]. Наиболее эффективны отсадочные машины Кливленда с количеством трапециевидных камер 1...12 и площадью отсадки 3,2...38,4 м<sup>2</sup>. Формы камер уменьшают горизонтальную скорость потока при движении от центра к периферии, при этом время пребывания материала в камере увеличивается, уменьшается плотность постели. Снижается расход воды, потребление электроэнергии и одновременно наблюдается повышение извлечения тонких частиц золота.

При выборе схем с отсадочной технологией обогащения песков необходимо учитывать не только содержание мелких классов, но и общее содержание золота. Так, за рубежом, схемы с отсадочными машинами применяют при содержании золота в песках не менее 300 мг/м<sup>3</sup>. По рекомендациям ЦНИГРИ, установка отсадочных машин целесообразна при содержании золота в песках 150...200 мг/м<sup>3</sup>, по данным ВНИИ-1-200-250 мг/м<sup>3</sup>. Извлечение золота на отсадочной машине определяется удельной производительностью и длиной фронта отсадки (табл. 6.3).

Длина, площадь решета, производительность и режим отсадки устанавливают в зависимости от вещественного состава песков.

Сравнительные результаты извлечения золота на отсадочных машинах в зависимости от длины фронта отсадки и удельной нагрузки

Удельная нагрузка на 1 м <sup>2</sup> решета отсадочной машины, м <sup>3</sup> /ч	Извлечение, % при длине, м			
	Шлиховых минералов		Золота	
	2	4	2	4
1,5-2,1	92,3	95,2-96,6	97,9	98,4
2,4-2,7	91,1	95,2-96,1	97,8	98,7
3,5-4,1	84,4	88-91,7	94-95,2	95,6
4,5-5,1	79,8	83-86	92-94	—
5,6-6,1	67-91	—	86-87	—

Институтом ОАО «Иргиредмст» проведена оценка комбинированных схем, в которых вместо отсадочных машин применялись винтовые сепараторы. Установлено, что дополнительное извлечение золота по схеме шлюз-винтовые сепараторы в пределах до 6,5...10,5 %. Следует подчеркнуть, что по сравнению с отсадочными машинами производительность винтовых сепараторов на 1 м<sup>2</sup> занимаемой площади выше. Общие эксплуатационные расходы снижаются при использовании винтовых сепараторов на 10...20 %.

При обогащении песков отсадочной технологией и винтовой сепарацией, а также усовершенствованными шлюзовыми технологиями установлено повышение извлечение золота крупностью -0,25 + 0,1 мм, однако процент извлечения тонкого золота крупностью -0,1 мм остается низким. Институтом ОАО «Иргиредмет» для полного извлечения золота указанной крупности разработана развитая технология переработки золотосодержащих песков с раздельным обогащением песковой и илистой фракций на соответствующем обогатительном оборудовании (рис. 6.18-6.19).

Для обогащения песковой фракции применяются отсадочные машины, концентрационные столы, а для переработки илесто-глинистой фракции – центробежные концентраторы различных типов.



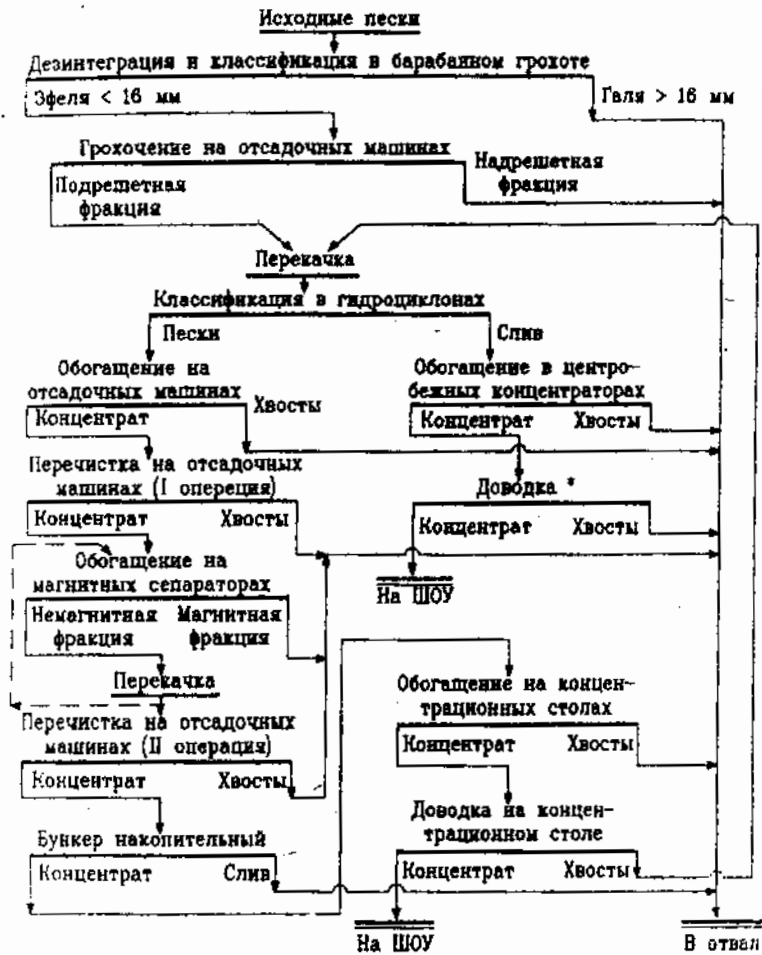


Рис. 6.18. Развитая технологическая схема обогащения песков (вариант 1)

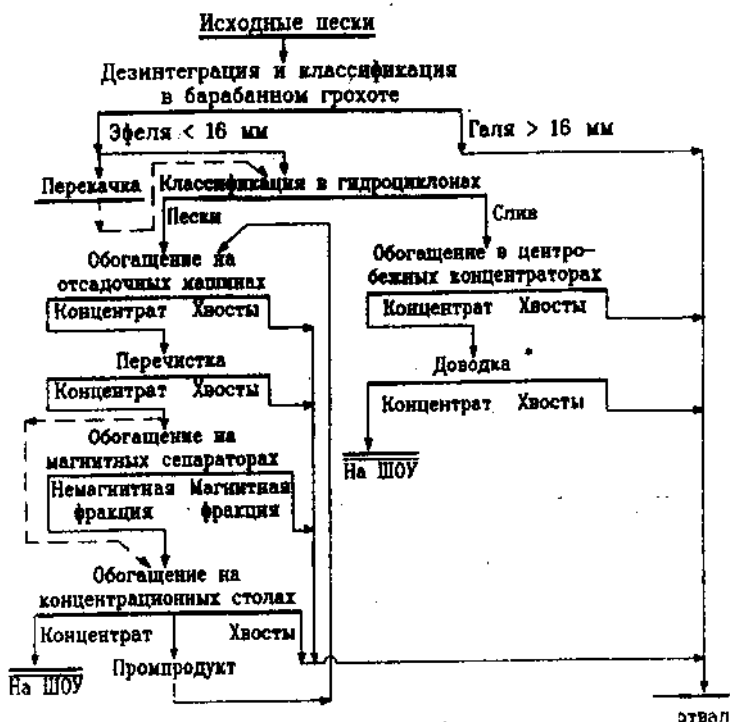


Рис. 6.19. Развития технологическая схема обогащения песков (вариант 2)

Разновидности схем промприбора, реализующие принцип развитой технологической схемы обогащения, приведены на рис. 6.20-6.24 [44].

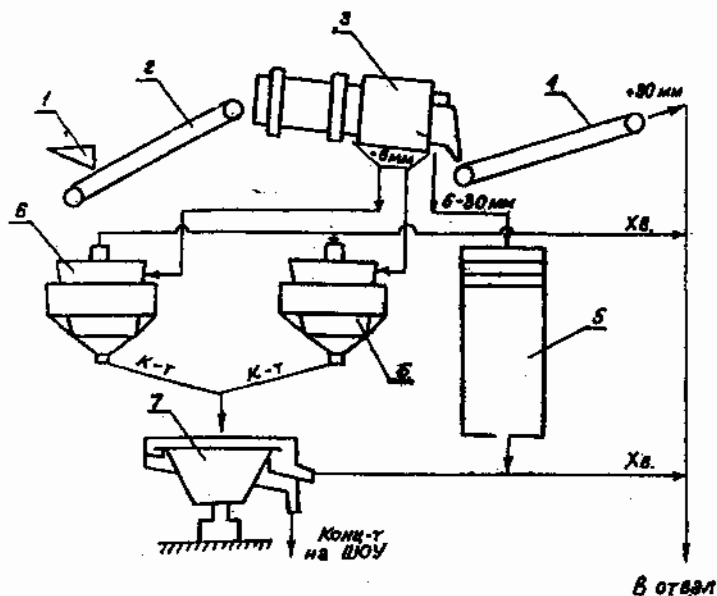
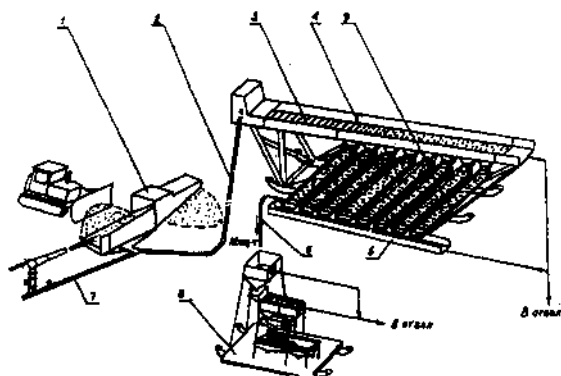


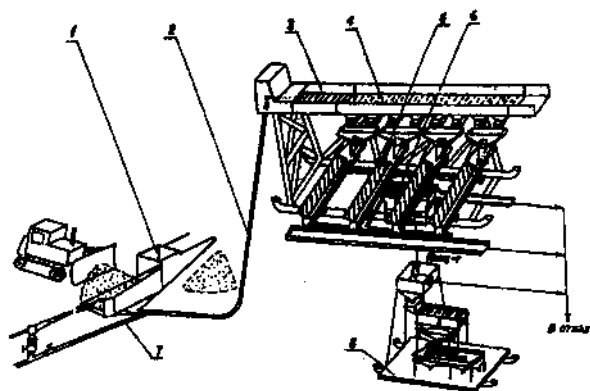
Рис. 6.20. Схема цепи аппаратов с использованием промприбора в качестве дезинтегрирующего устройства:

- 1 - бункер-питатель; 2 - конвейер ленточный подъемник; 3 - скруббер;  
 4 - отвалообразователь; 5 - шлюз глубокого наполнения;  
 6 - центробежно-барботажные концентраторы;  
 7 - доводочный центробежный сепаратор



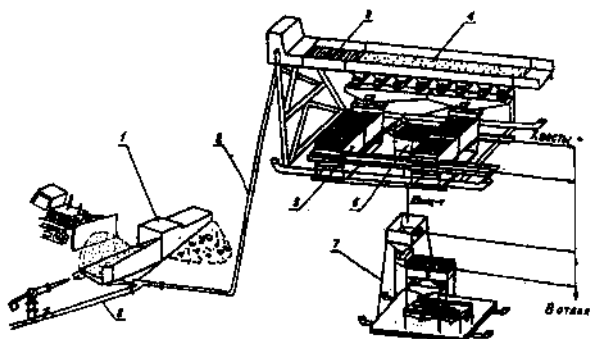
**Рис. 6.21. Технологическая схема с использованием шлюзов:**

1 – гидравлишерд; 2 – пульпопровод; 3 – шлюз глубокого наполнения; 4 – грохот гидравлический с регулируемым выпуском подрешетного продукта; 5 – пульпопровод концентрата шлюзов мелкого наполнения; 6 – желоб для вывода хвостового продукта шлюзов мелкого наполнения; 7 – магистраль напорной технологической воды; 8 – доводочный модуль; 9 – шлюзы мелкого наполнения

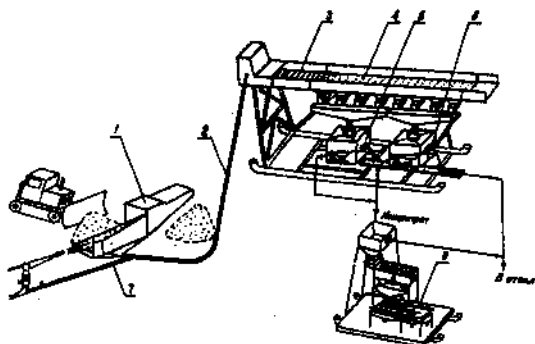


**Рис. 6.22. Усовершенствованный промприбор:**

1 – гидравлишерд; 2 – пульпопровод; 3 – головной шлюз; 4 – гидравлический грохот; 5 – шлюз непрерывной разгрузки концентрата; 6 – отсадочная машина; 7 – водовод; 8 – доводочный модуль



**Рис. 6.23. Промприбор с отсадочной технологией обогащения песков:**  
 1 – гидравлический экскаватор; 2 – пылепровод; 3 – шлюз глубокого наполнения;  
 4 – грохот гидравлический; 5 – машина МОД-2М; 6 – машина МОД-1М; 7 –  
 доводочный модуль; 8 – водовод



**Рис. 6.24. Промприбор с центробежной технологией обогащения песков:**  
 1 – гидравлический экскаватор; 2 – пылепровод; 3 – головной шлюз; 4 – гидравлический  
 грохот; 5 – центробежный концентратор типа Нельсон; 6 – хвостовая колода;  
 7 – доводочный модуль; 8 – водовод

Различные варианты разработанной развитой технологии переработки золотосодержащих песков испытаны и освоены на ряде золотодобывающих предприятий. Развитая технология впервые была реализована ОАО «Иргиредмет» на драге № 73 и береговой обогатительной фабрике (БОФ), перерабатывающих пески погребенной россыпи р. Б. Куранах в Якутии (рис. 6.25, 6.26).

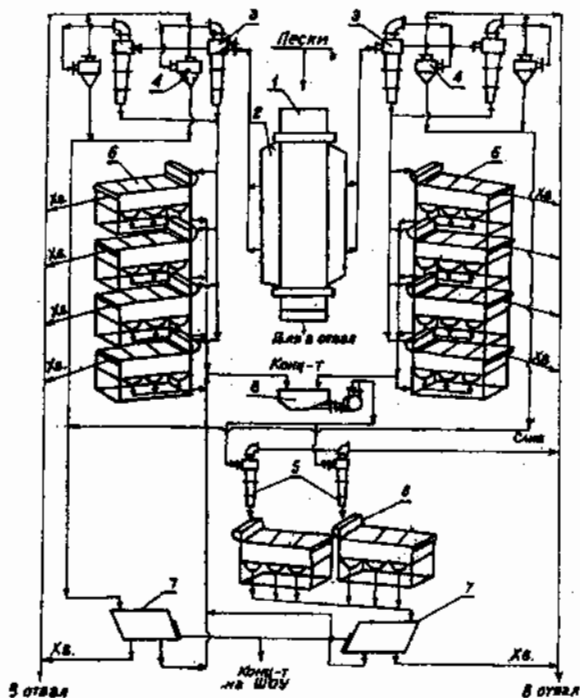
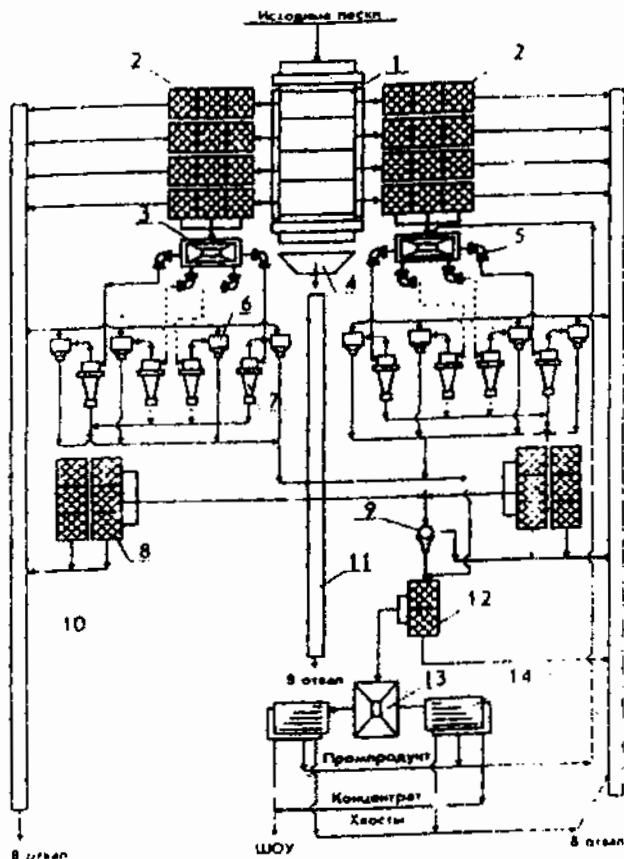


Рис. 6.25. Схема цепи аппаратов на БОФ с развитой технологией обогащения песков:

- 1 – грохот-десинтегратор (дражная бочка); 2 – бункер-приемник;  
 3 – гидроциклон ГЦР-710; 4 – гидроциклон короткоконусный ККГЦ-500;  
 5 – гидроциклон ГРЦ-250; 6 – отсадочная машина МОД-3М («Труд-3»);  
 7 – стол концентрационный СКО-7,5; 8 – сборник концентратов отсадочных машин



**Рис. 6.26. Схема цепи аппаратов развитой технологии обогащения песков на драге:**

- 1 – барабанный грохот; 2 – отсадочные машины МОД-3М;  
 3 – сборник концентратов отсадочных машин; 4 – галечный лоток;  
 5 – песковый насос; 6 – короткоконусные гидроциклоны ККГЦ-500;  
 7 – гидроциклоны ГЦ-500; 8 – отсадочные машины основные; 9 – магнитный сепаратор; 10, 11 – эфельные колоды; 12 – отсадочная машина МОД-3М перечистная; 13 – сборник концентрата; 14 – концентрационный стол

Для первой стадии классификации и дезинтеграции песков использованы барабанные грохоты (дражные бочки), для второй стадии классификации подрешетного продукта барабанных грохотов - отсадочные машины МОД-3М, в режиме предконцентрации без искусственной постели на драге, и длинноконусные гидроциклоны ГЦР-710 на БОФ. В качестве центробежных аппаратов для переработки илистоглинистой фракции песков использованы центробежные концентраторы КЦ-500 (короткоконусные гидроциклоны). При промышленном внедрении данной технологии извлечение золота крупностью 0,25...0,1 мм составило 80...90 %, мельче 0,1 мм - 60...70 % [43].

### **6.5. Технология обогащения техногенного сырья**

В последние годы все больше внимания уделяется промышленному освоению техногенных россыпей. Из всех существующих разновидностей техногенных россыпей наиболее перспективными для повторной переработки являются эфельные золотосодержащие отвалы и образования. Это связано прежде всего с тем, что запасы песков и золота являются достаточно большими. При повторной переработке эфелей значительно уменьшаются горно-подготовительные работы, так как на обогащение подается предварительно отмытый и классифицированный материал, содержащий золото крупностью менее 3 мм.

Повторная отработка эфельных хвостов осложняется наличием в них труднообогатимого техногенного золота, к которому относят:

- золото тонких и мелких классов крупности (-0,1 мм);
- золото измененной формы;
- золото в сростках с другими минералами.

Институтом ОАО «Иргиредмет» на базе новых обогатительных аппаратов разработана развитая технология обогащения техногенных песков [18, 44]. Данная технология была реализована в промышленном масштабе на скрубберно-бочечном промывочном приборе (ПБСР-100) для обогащения техногенных песков месторождения «Сухой лог»





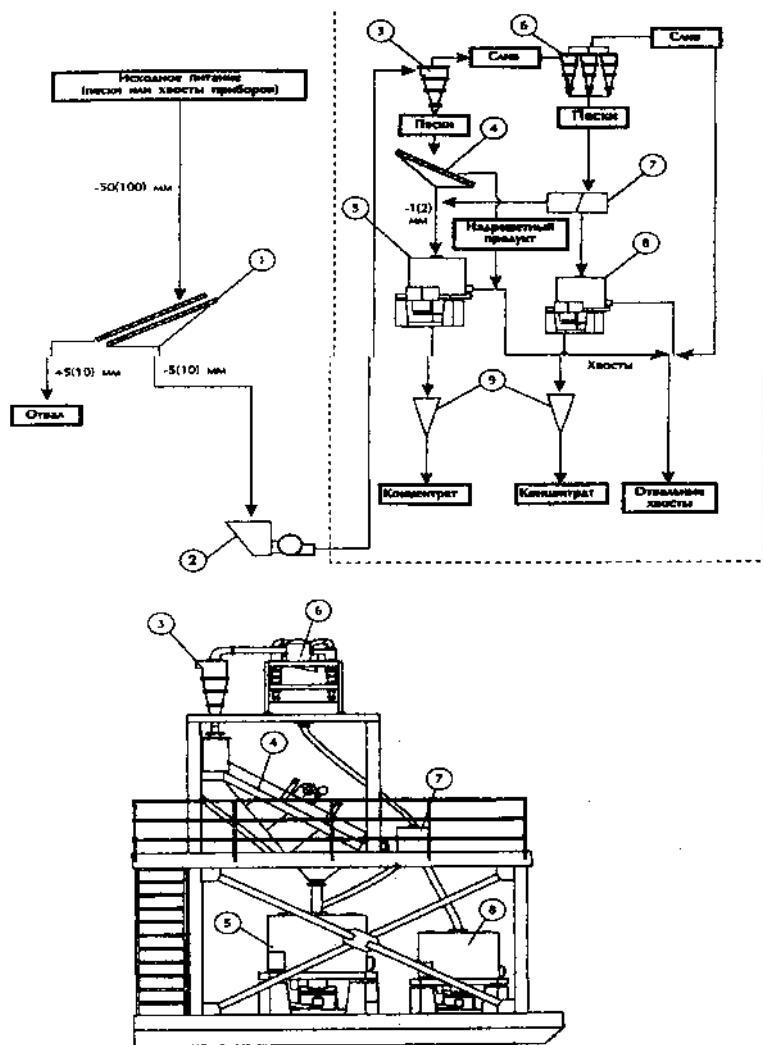
Дезинтеграция и грохочение песков осуществлялись в скруббер-бугаре. Классификация песков крупностью менее 10 мм осуществлялась в гидроциклонах ГЦР-500. Классификация песков позволяет вывести в слив тонкое золото (менее 0,1 мм), которое недостаточно эффективно улавливается отсадочными машинами. Тонкое золото, выведенное в слив, подвергалось улавливанию в центробежно-барботажном концентрате с перемешиванием концентрата в центробежной отсадочной машине, с последующей доводкой в центробежном концентрате «Итомак-1.0».

Обогащение песковой фракции гидроциклонов производили на отсадочных машинах типа МОД-3М и МОД-2М и концентрационных столах СКО-7,5 и СКО-2 с перемешиванием концентрата концентрационного стола СКО-2 в центробежном концентрате «Итомак-10». Применение развитой технологии позволило получить сквозное извлечение золота на промприборе на уровне 89,3 %, на 40...45 % по сравнению со шлюзовой [13].

Для извлечения труднообогатимого золота из песков целиковых и техногенных россыпей разработан модуль центробежного обогащения (МЦО) производительностью 30...100 м<sup>3</sup>/ч [113]. Схема цепи аппаратов и компоновка модуля [91] представлены на рис. 6.28.

Модуль представляет собой быстросборную конструкцию, технологически вписываемую в схему любого типа существующих промывочных приборов и драг. Схема обогатительного модуля изменяется в зависимости от вещественного состава песков и характеристик золота. В качестве основного обогатительного оборудования применяются центробежные сепараторы с псевдоожижением (разрыхлением) материала водой. Предварительная классификация песков осуществляется в гидроциклонах и грохоте. Для снижения потерь золота со сливом классифицирующего гидроциклона предусмотрена операция контрольной классификации в гидроциклонах малого диаметра.

При значительном содержании труднообогатимого золота в песках грубозернистая и тонкозернистая фракции обогащаются отдельно.



**Рис. 6.28.** Схема цепи аппаратов и компоновка модуля центробежного обогащения:

1 – грохот; 2 – грунтовый насос; 3 – гидроциклон; 4 – грохот для тонкого грохочения; 5, 8 – центробежный концентратор; 6 – гидроциклоны малого диаметра; 7 – распределитель титания; 9 – бункер для концентрата

Результаты применения модуля МЦО-30 на хвостах шлюзовых приборов ПГШ и ПБШ показали, что с его помощью доизвлечение золота от всего объема извлеченного ценного компонента составляет соответственно 58...60 % и 25...30 %.

При использовании центробежных концентраторов в качестве основного обогащенного оборудования извлечение золота крупностью менее 0,1 мм составило 82...88 %.

В настоящее время серьезную проблему вызывает вовлечение в переработку техногенных месторождений золота, пораженных ртутью. По некоторым оценкам, на техногенных месторождениях накоплены значительные количества высокотоксичных продуктов в виде золотосодержащих амальгам и металлической ртути [22], достигающих в ряде случаев до 20 г/м<sup>3</sup> и более. При этом характерно, что накопленная золотосодержащая амальгама и металлическая ртуть в техногенных месторождениях потерпели существенные изменения физико-химических свойств. Поэтому традиционно используемые методы обогащения песков не позволяют эффективно извлекать золотосодержащую амальгаму и металлическую ртуть. Потери амальгам, содержащих золото и ртуть, достигают по данным практики до нескольких десятков граммов в сутки [72].

В настоящее время существуют несколько разновидностей технологических схем, позволяющих утилизировать ртутьсодержащие отходы в процессе переработки песков (рис. 6.29, 6.30). Наиболее эффективными из них являются комбинированные технологические схемы обогащения, основанные на использовании различных комбинаций (гравитационных, магнитных и электрических, магнитно-флокуляционных, химических и др.) методов [22, 58, 62, 66, 72].

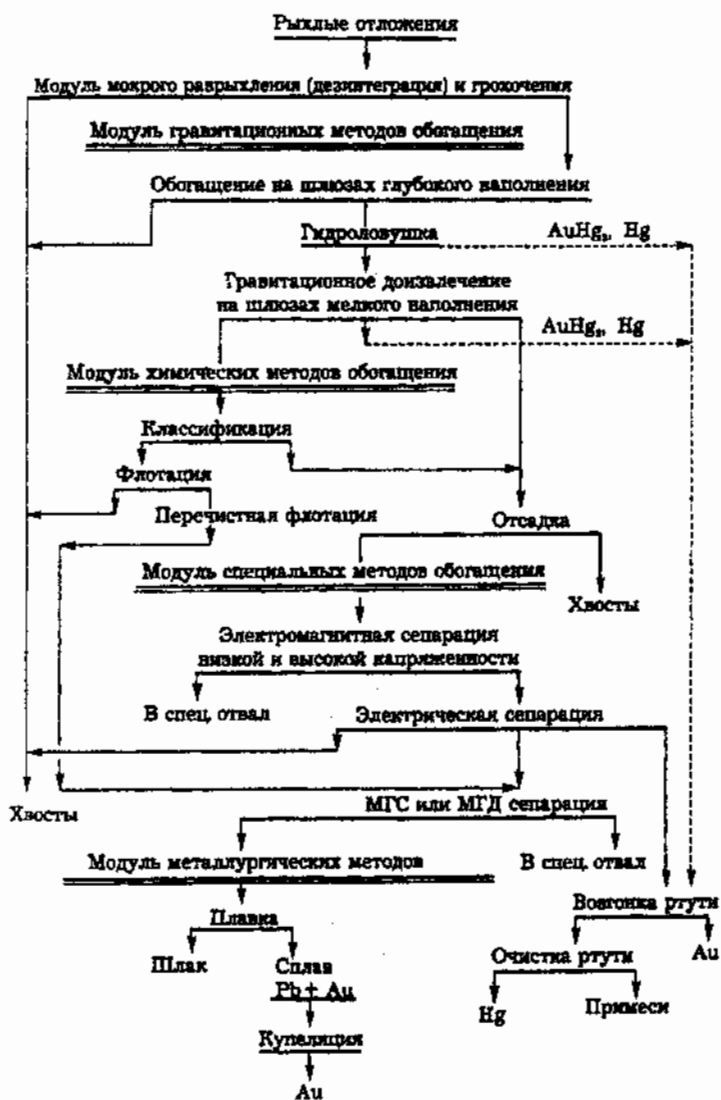


Рис. 6.29. Принципиальная технологическая схема извлечения золота и золотосодержащих амальгам из техногенных россыпных месторождений

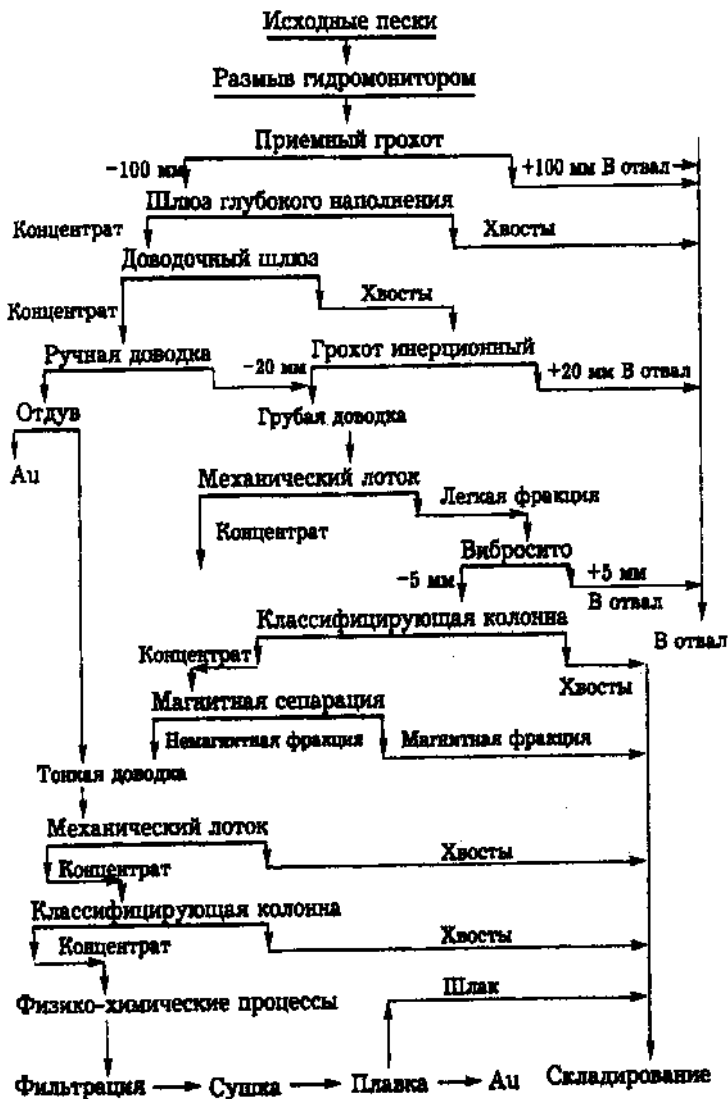


Рис. 6.30. Технологическая схема улавливания ртути и россыпного золота из техногенных месторождений

### 6.6. Технология попутного извлечения золота из песчано-гравийных материалов техногенных месторождений

Песчано-гравийные материалы (ПГМ) являются дополнительным источником получения благородных металлов как в России, так и за рубежом. Особенность месторождений ПГМ заключается в том, что золото представлено в них в основном мелкими (-0,25 мм) и тонкими (-0,1 мм) классами крупности. Содержание золота в пробах песков месторождений ГОКов, производящих строительные материалы, сильно варьируется (табл. 6.4) [98].

Таблица 6.4

Содержание и пределы гравитационного извлечения золота из песков ГОКов строительных материалов

Наименование объекта	Содержание золота в пробах, мг/т	Извлечение золота в гравитационный концентрат, %
Вяземский ГОК (Смоленская область)	60-200 (50)	55-80
Хромцовский карьер (Ивановская область)	60-100 (5)	60-75
Липецкая область, объекты Липецкавтодора	40-180 (3)	40-60
Сычевский ГОК (Московская область)	20-60 (4)	30-65
Икшинский КСМ (Московская область)	16 (1)	35
Тучковский КСМ (Московская область)	25 (1)	31
Пески замсаряда (Московская область)	20 (1)	25
Месторождение Кирсинское	60 (2)	65
Месторождение Уточий Бор (Кировская область)	40 (1)	50
Опытный полигон (Костромская область)	60-100 (6)	65-85
Песчаный карьер (Калужская область)	26 (1)	40

Содержание золота в песках большинства предприятий не превышает 80 мг/т. Извлечение золота в гравитационный концентрат изменяется от 25 до 80 %. По данным практики, организация попутного извлечения золота целесообразна на предприятиях, имеющих производительность по мытым пескам не менее 600 тыс. т в год.

Технологические системы попутного извлечения золота из хвостов промывки песков строятся на основе использования комплекса

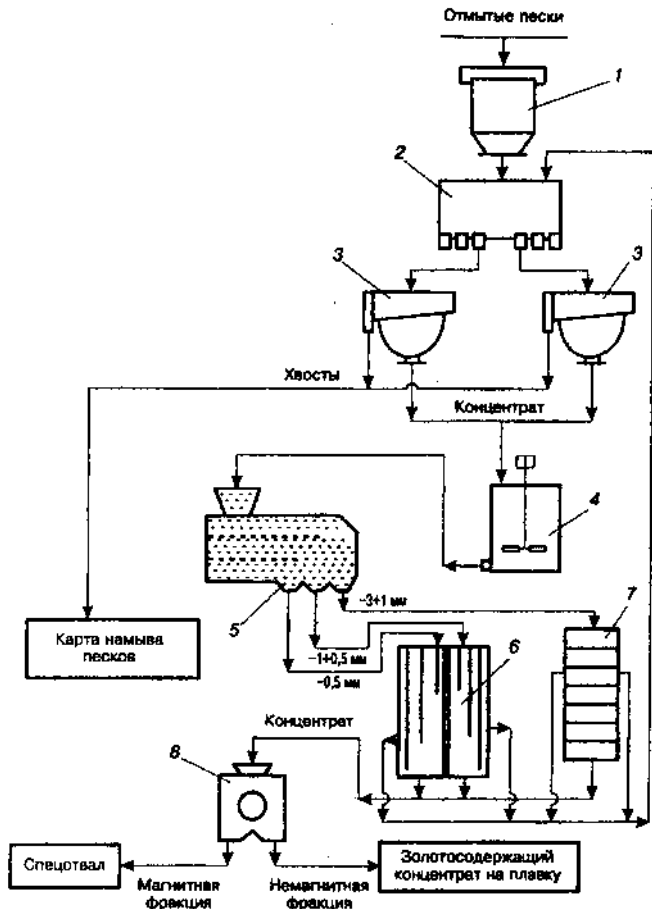
современных гравитационных аппаратов и оборудования. Обогательное оборудование размещается на существующих производственных площадках, и строительство капитальных зданий и сооружений не предусматривается. Методология построения схем обогащения песков ПГМ, учитывая высокий процент содержания в них мелких и тонких классов крупности золота, базируется на использовании эффективного ресурсосберегающего оборудования, способного извлекать свободное золото в голове процесса. Выделенный при сепарации ПГМ концентрат поступает на дальнейшую мокрую классификацию с целью разделения массопотока по узким классам крупности. Дальнейшее извлечение золота производится по узким классам крупности хвостов. Выделенный концентрат направляется на плавку. На рис. 6.31 приведена в качестве примера технологическая линия, реализующая основные принципы методологии построения схем [98].

Минеральная фракция ПГМ крупностью -3 мм поступает в центробежные концентраторы. Доводка концентрата производится по типовым схемам (комбинированное использование концентрационных столов и магнитных сепараторов). В результате доводки получают концентрат с содержанием золота не менее 5 %, который подвергают дальнейшей плавке.

### **6.7. Доводка концентратов**

Доводку черновых золотосодержащих концентратов проводят с целью повышения в них содержания ценных компонентов (золота). Сложный минеральный состав и широкий диапазон крупности шлихового концентрата исключают применения какого-либо одного метода обогащения. Для выделения золота в процессе доводки применяют как гравитационные (отсадка, доводка на концентрационном столе), магнитные (магнитная и электромагнитная сепарации), так и комбинированные (магнитогидростатическая, магнитогидродинамическая сепарации) методы.





**Рис. 6.31. Технологическая схема переработки золотосодержащих мытых песков ПГМ:**

1 - приемный зумиф; 2 - пульподелитель; 3 - центробежные концентраторы;  
4 - сборник черного концентрата; 5 - гидрогохот; 6 - двухдечный  
концентрационный стол; 7 - самородкоуловитель; 8 - магнитный сепаратор

Традиционные технологические схемы доводки черновых золотосодержащих концентратов включают [1, 80, 82, 102]: грохочение на узкие классы крупности, предводочный гравитационный аппарат для удаления легкой фракции, магнитный сепаратор слабого поля для

удаления железного скрапа и магнетита, магнитный сепаратор сильного поля на электромагнитах или редкоземельных постоянных магнитах для удаления средне- и слабоманитных минералов и магнито-жидкостные сепараторы оригинальных конструкций для выделения шлихового золота.

*Порядок переработки шлихов в поточных линиях гравитационного обогащения.* Шлиховая фракция первоначально поступает на грохочение с целью выделения в голове процесса продуктивной и непродуктивной фракций. Подрешетный продукт шлиховой фракции первоначально направляется на отсадку, а затем на концентрационный стол и центробежную сепарацию. Полученный обогащенный продукт направляется на сушку и затем на плавку для получения золотосодержащего слитка.

Существенным недостатком гравитационных схем является низкая эффективность извлечения мелких и тонких классов золота в гравитационных аппаратах и отсутствие возможности переработки шлиховой фракции.

Поэтому для совершенствования технологических схем ШОУ все большее применение получают различные комбинации сочетаний традиционного и нового оборудования, как правило, связанного с последними достижениями техники и технологий.

При этом совершенствование развернутых технологических схем идет в направлении оснащении их магнитными и магнито-жидкостными сепараторами с применением различных компоновочных решений.

Доводка черновых золотосодержащих концентратов на подобных комплексах позволяет получить высокое извлечение золота (до 99 %), но тем не менее эти комплексы имеют очевидные недостатки. Каждый из перечисленных агрегатов требует индивидуальной настройки и обслуживания, промежуточные продукты необходимо сушить перед обогащением их на магнитных сепараторах, чтобы уменьшить потери мелкого и тонкого золота с магнитными минералами, магнитная жидкость требует регенерации и т.д.

Для переработки гравитационных золотосодержащих концентратов институтом ОАО «Иргиредмет» разработаны и изготавливаются шлиходоводочные установки (ШДУ). Шлиходоводочные установки предназначены для получения продуктов с высоким содержанием драгоценного металла (золотосодержащего концентрата), пригодного для дальнейшей плавки или цианирования.

Установки изготавливаются в стационарном или передвижном варианте (на санях). В зависимости от производительности выделяют три разновидности шлиходоводочных установок. Шлиходоводочная установка (ШДУ-1) производительностью до 1 т/ч (рис. 6.32).

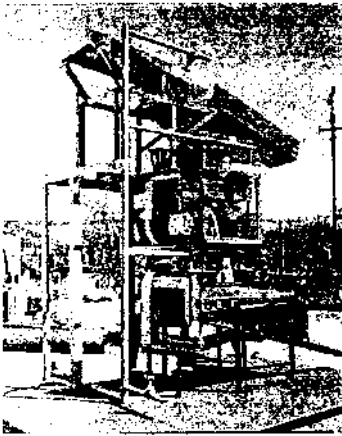


Рис. 6.32. Шлиходоводочная установка ШДУ-1

Размещается вблизи промывочного прибора или на территории приисковой шлихообогатительной фабрики. Монтируются на санях. В комплект поставки входит отсадочная машина МОД-0,2, стол СКО-0,5 или СКО-2, коммуникационное оборудование (соединительные лотки, песковый насос и др.). Шлиходоводочная установка (ШДУ-2) производительностью до 2 т/ч, монтаж на санях. Комплектация – отсадочная машина МОД-1М1, стол СКО-2, коммуникации. При предварительном грохочении шлихов

может комплектоваться виброгрохотом или мини-скруббер-бутарой и концентрационным столом СКО-0,5.

Шлиходоводочная установка (ШДУ-5) производительностью до 5 т/ч. Монтаж на территории приисковой шлихообогатительной фабрики. Комплектация – отсадочная машина МОД-1М1 («Труд-1»), столы СКО-7,5, СКО-2, СКО-0,5, электротельфер 0,5...1,0 т, гидроциклон ГЦР-150, гидроэлеватор или песковый насос, коммуникации. При необходимости может комплектоваться виброгрохотом, мини-скруббер-бутарой.

Для повышения качества золотосодержащего концентрата ШДУ предусмотрена возможность оснащения вышеуказанных типов установок магнитными сепараторами. С помощью магнитной сепарации выделяются предварительно сильномагнитные минералы (магнетит, гематит), металлический скрап, что в значительной степени повышает количество золотосодержащих продуктов, получаемых на концентрационном столе.

Для переработки шлиховых продуктов также разработана усовершенствованная модификация доводочного комплекса «Шлих-1». Комплекс позволяет перерабатывать шлихи с нагрузкой по исходному питанию 5...15 кг/ч в зависимости от вещественного состава шлихов.

Схема цепи аппаратов комплекса (рис. 6.33) состоит из виброгрохота, роликового и вибрлоткового магнитных сепараторов, МЖ-сепаратора, отсадочной машины, концентрационного стола, центробежного концентратора.

С помощью оснащения комбинированной схемы гравитационными и магнитными сепараторами представляется возможным дополнительно выделять из шлихов магнетит, гематит, ильменит, гранат и другие ферро- и парамагнитные минералы. За счет установки МЖ-сепаратора представляется возможным дополнительно извлекать мелкое золото, ранее теряемое в гравитационных аппаратах. Кроме «Шлих-1» в последнее время разработаны более совершенные доводочные комплексы «Шлих-2» и «Шлих-3».

Из числа новых направлений выделения тонкого золота из сливов продуктов обогащения ШОУ следует выделить метод селективной флокуляции, реализуемый с помощью полиэлектролитных комплексов [56, 59]. За счет использования различных сочетаний флокулирующих и электролитных добавок представляется возможным управлять режимами формирования и осаждения флокул (хлопьев) в массопотоках минеральных суспензий.

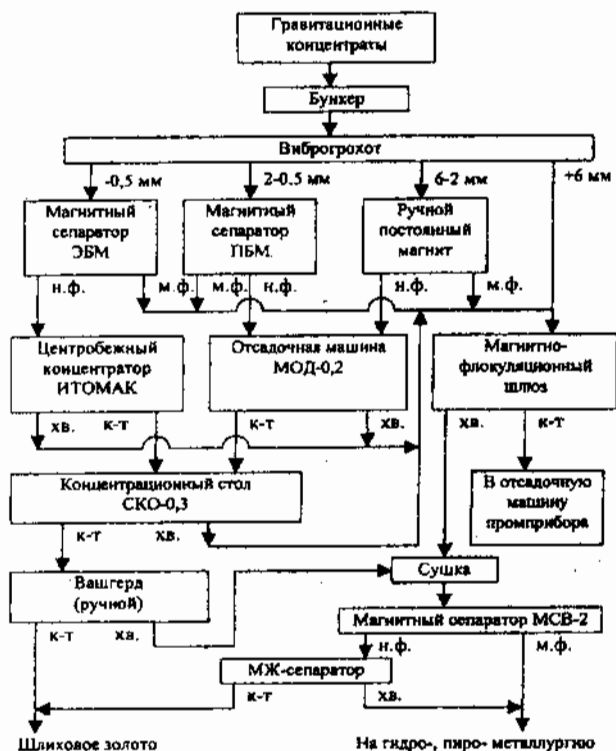


Рис. 6.33. Схема доводки концентратов

Институтом ОАО «Иргиредмет» разработаны малогабаритные установки цианирования производительностью 0,5...5 т/сут, позволяющие перерабатывать богатые концентраты и промпродукты (содержание золота и серебра порядка 200 г/т).

Объем перерабатываемого золотосодержащего сырья от десятков килограммов до 1,5 т. Выщелачивание производится в конусном реакторе методом импульсной перколяции. Производительность установок цианирования, работающих в периодическом (интенсивном) режиме, составляет 20...49 ч.

Золотосодержащий цианистый раствор из реактора поступает в электролизер. Достижимая пробность осаденного товарного катод-

ного металла – 700...900. Из электролизера обезметалленные цианистые растворы возвращаются повторно в технологический процесс. Установки цианирования при переработке продуктов золотосодержащего сырья ШОУ и ШОФ артелей старателей обеспечивают получение 100..200 кг золота в год.

Для плавки (расплавления) золотосодержащих продуктов и получения золотого слитка используют руднотермические печи. В отличие от традиционных (индукционных, шахтных, камерных) руднотермические печи обеспечивают получение высокой температуры (до 3000 градусов). За счет этого предоставляется эффективно плавить сравнительно бедные (10...15 %) золотосодержащие продукты и эффективно извлекать из них мелкое золото. Характеристики выпускаемых ОАО «Иргиредмет» руднотермических печей («З-3» и «З-10») приведены в табл. 6.5.

Т а б л и ц а 6 . 5

## Техническая характеристика руднотермических печей

Характеристики	Печь «З-3»	Печь «З-10»
Рабочий объем ванны, дм <sup>3</sup>	3,0	20,0
Рекомендуемая массовая доля золота в концентрате, %	Более 15	Более 10
Время плавки, ч	0,5-1,0	1,5-2,0
Масса слитка, кг	2-5	3-10
Масса печи, кг	110	300
Размеры, мм	700×800×1800	2000×1100×2500
Потребляемая мощность, кВт	~ 15	~ 30
Электропитание	Трансформатор W = 40 кВт, I = 600-700 А, U = 10-45 В	Трансформатор W = 80-100 кВт, I = 700-1000 А, U = 10-45 В
Периодичность замены футеровки, плавов	20-50	10-20

### **6.8. Физико-химическая геотехнология подземного выщелачивания золота**

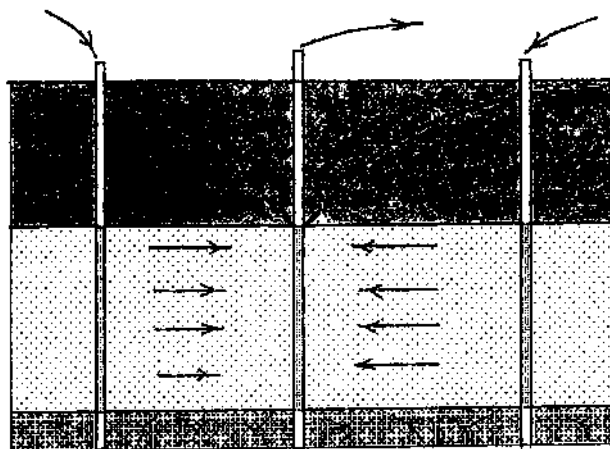
Анализ патентных документов (авторских свидетельств и патентов) свидетельствует о том, что золото из песков россыпных месторождений может извлекаться физико-химическими методами подземного растворения и выщелачивания [58].

Первые патент на «Способ добывания золота и иных благородных металлов путем прямого выщелачивания залежей» выдан в России в 1896 г. американскому инженеру Г. Фрашу со следующей формулой:

«Предлагаемый способ может быть применен к месторождениям, в которых золото содержится в настолько незначительных количествах, что не представляется возможным добывать его употребляющимися до настоящего времени способами, или же к таким месторождениям, где добывание золота этими последними способами вовсе не может применяться, или не окупается вследствие недостатка воды или по характеру месторождения, а также к добыванию золота или других металлов (например, серебра или платины) из пористых или проницаемых для воды пластов, причем вещество, способное растворять золото и т.п., вводится в металлоносный пласт, состоящий в большей части из песка или гравия, пласт же этот остается в естественном своем положении».

Подземное выщелачивание золота на месте залегания мелких, глубоко залегающих и техногенных массивов основано на переводе ценного компонента в подвижное состояние путем подачи растворов химических реагентов в рабочую зону через сеть пробуренных технологических скважин [10].

Закачка выщелачивающего агента и откачка продуктивных растворов осуществляется через закачные и откачные скважины, оборудованные фильтрами (рис. 6.34).



**Рис. 6.34. Схема технологии подземного выщелачивания россыпного золота:**  
 ■ песчано-глинистые породы дражных отвалов;  
 □ золотосодержащие пески; ■ элювий коренных пород;  
 ← направления фильтрации технологических растворов;  
 - - - депрессионная кривая

В качестве рабочих агентов, известных для растворения золота, находят применение:

- смесь кислот соляной и азотной (в пропорции 3:1 «царская водка»), серной с марганцевой, серной с азотной;
- водные растворы цианидов, хлоридов, бромидов, йодидов, тиокарбамида, тиосульфата. Из методов интенсификации процессов выщелачивания золота в последнее время все большее применение получает бактериальное выщелачивание с помощью микроорганизмов [118].

Подземное выщелачивание золота из металлоносных песков имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционно используемыми способами (карьер, разрез, шахта):

- снижение капитальных и эксплуатационных затрат;
- снижение себестоимости готовой продукции, повышение производительности труда;
- повышение экономической эффективности разработки место-



рождений в сложных геологических и геотехнических условиях;

- сокращение срока пуска месторождения в эксплуатацию;
- минимизация ущерба окружающей среде (не оказывает существенного влияния на состояние недр, сохранение природного ландшафта, отсутствие выемок в виде карьеров, эфелей промывки песков);
- повышение безопасности горного производства;
- малое количество отходов;
- технологичность процесса с возможностью организации производства по добыче и переработке ценного компонента с минимальным количеством механизмов и операторов;
- высокая автоматизация процесса.

Технология подземного выщелачивания золота с использованием метода хлоридной гидрометаллургии (известного с сер. XIX в.) в последнее время испытана на опытном участке россыпи Данду-Хонгорок Восточного Забайкалья [30]. Данные опытно-промышленных испытаний позволили заключить, что весьма благоприятными к постановке работ методом подземного выщелачивания могут являться участки развития сквозных и несквозных таликов в подрусловых золотоносных отложениях. При этом золотосодержащие пески должны быть проницаемыми для растворов. Выбор эффективного растворителя с высокой кинетической активностью и селективностью действия предопределяет перспективу промышленного использования технологии подземного выщелачивания золота. Выбор и обоснование участков для подземного выщелачивания золота должно базироваться на основе тщательного анализа информации о геологических условиях залеганий продуктивного пласта и особенностей гидрогеологических условий. Причем для промышленной реализации метода хлоридной гидрометаллургии требуется дальнейшая постановка экспериментальных исследований.

Институтом ОАО «Иргиредмет» разработана технологическая схема оксихлоридного подземного выщелачивания золота (рис. 6.35). Хлоридная технология подземного выщелачивания золота рекомендуется для мелко- и глубоко залегающих россыпей и техногенных обра-

зований металлоносных песков из глубоких отвалов и ранее обработанных горных выработок (карьеров, шахт).

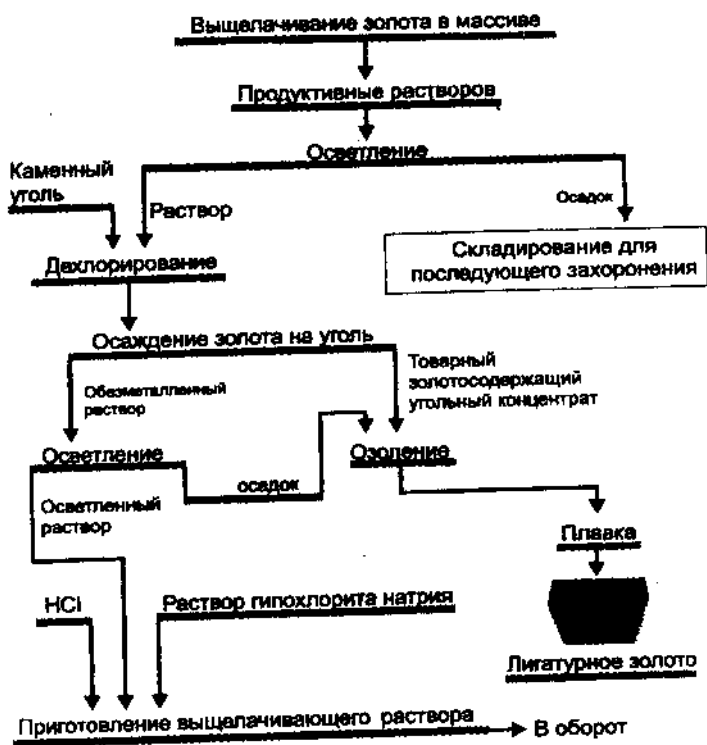


Рис. 6.35. Технологическая схема оксихлоридного ПВ золота

Она характеризуется более высокой, по сравнению с цианированием, скоростью растворения золота и допускает возможность приготовления выщелачивающих растворов непосредственно на месте их использования. Экологическая безопасность по сравнению с цианированием предопределяет дальнейшую перспективу ее использования на объектах золотодобычи.

На примере окисленных руд Маминского месторождения (содержание золота 1,1 г/т) установлено, что процесс оксихлоридного выщелачивания ценного компонента позволяет достигнуть высокого

процента извлечения (до 90...96 %).

Институтом ОАО «Иргиредмет» разработаны критерии оценки пригодности золотоносных участков для отработки их способом подземного выщелачивания. Однако до сих пор технология подземного выщелачивания относится к числу наименее отработанных, поэтому выбор наиболее эффективных растворителей золота предложено базировать исходя из следующих посылок:

- достаточно высокой кинетической активности и селективности действия реагентов по отношению к золоту;
- относительно невысокая стоимость и расход реагентов;
- наличие надежных способов выщелачивания золота;
- экологичной безопасности и надежности технологических схем.

К наиболее изученным процессам, которые можно рекомендовать для реализации технологии извлечения золота следует отнести:

- цианирование (применение сдерживается необходимостью преодоления психологического барьера, в связи с укоренившимся мнением по «экологичной опасности»);
- гидрохлорирование;
- бромное выщелачивание ценного компонента при высокой кинетической активности растворения;
- тиокарбамидное выщелачивание может быть реальной альтернативой цианистому процессу [105].

Перспектива использования других растворителей (растворы йода, тиосульфаты, нитриды, соли гуминовых кислот) в условиях ПВ золота является весьма проблематичной из-за их дороговизны.

Применение технологии ПВ золота с позиции экологической безопасности требует решение следующих проблемных вопросов:

- предотвращения утечек продуктивных растворов за пределы контура эксплуатационных блоков;
- устранения возможности загрязнения подземных вод токсичными примесями в процессе гидрометаллургического производства;
- «рекультивации подземных вод» по окончании работ.

### 6.9. Геотехнологические методы подготовки и переработки труднообогатимых песков

Тесная взаимосвязь технологических операций с подготовительными, основными и вспомогательными процессами и явно выраженная поточность транспортируемых масс при добыче и переработке металлоносных песков (рис. 6.36) предопределила необходимость создания новых технических решений в виде своеобразных поточных линий [56].

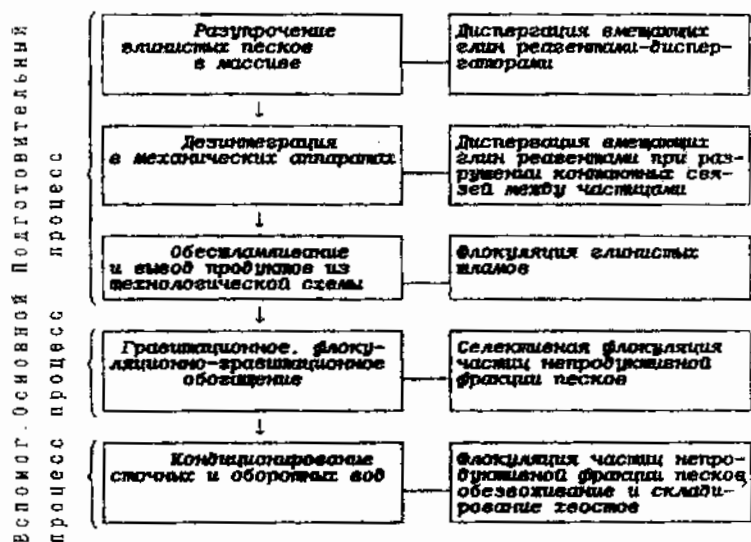


Рис. 6.36. Физико-химический минералоподготовительный комплекс на основе сочетания нетоксичных реагентов: диспергаторов и флокулянтов

В общем виде понятие *поточной линии* для добычи и переработки песков можно сформулировать следующим образом – это технологически рассчитанный и взаимоувязанный в цикле горных работ набор сконструированного оборудования для получения готовой продукции, на входе которого – подготавливаемое к обогащению минераль-

ное сырье, а на выходе – получаемая из него продуктивная и непродуктивная фракции перерабатываемых песков. Выбор и компоновка рабочих органов и устройств осуществляется на основе физико-химической минералоподготовки с учетом основного разделительного признака – физико-химических свойств глинистых песков. Для оценки эффективности созданных поточных линий рекомендуется использовать обобщенный критерий – минимум потерь ценного компонента при максимально возможном снижении ущерба от загрязнения природной среды.

Использование физико-химических методов минералоподготовки глинистых и высокоглинистых песков позволяет направленно модифицировать их свойства. За счет этого сложное сырье глинистых металлоносных песков может переходить из категории труднообогатимого в легко- и среднепромышленное, что и предопределяет возможность усовершенствования технологических схем [1, 56]. При этом физико-химическая минералоподготовка глинистых металлоносных песков россыпных месторождений рассматривается как комплексная категория, направленная прежде всего на перевод минеральных зерен ценного компонента в реальную товарную продукцию (на всем «жизненном цикле» ее формирования), начиная с подготовительных операций и заканчивая вспомогательными процессами (табл. 6.6).

Впервые физико-химическая минералоподготовка, как научно-производственная категория, сформулирована в 1991 г. Состав физико-химической минералоподготовки песков как единого технологического комплекса подготовки сложных глинистых и техногенных месторождений к промывке и получение концентрата путем направленной реагентной обработки вмещающих глин и последующего выделения из минерального сырья продуктивной и непродуктивной фракции, сгущения и складирования массопотоков отдельных продуктов с использованием специальных способов и технических средств, повышающих экологическую безопасность контуров внутреннего и внешнего водоснабжения промприборов и драг, представлен в табличной форме.

**Основные технологические процессы и физико-химические способы, используемые в поточно-циклических и поточных линиях добычи и переработки песков**

№ п/п	Наименование технологических процессов	Физико-химические способы осуществления процесса	Решаемые технические задачи
1	Предварительное разупрочнение горных пород	Реагентное разупрочнение глинистого цемента песков при механическом, гидравлическом рыхлении и фильтрационно-дренажном увлажнении	Снижение связанности глинистых песков и их липкости к рабочим органам землеройной машины
2	Выемка и транспортировка песков на промывку	Механическая выемка, погрузка и транспортировка песков после их обработки реагентными добавками	Повышение производительности землеройно-транспортных средств при подаче песков на промывку
3	Дезинтеграция глинистых песков	Механическое и гидравлическое разрушение цементированных глиной песков при обработке их реагентными добавками	Повышение эффективности раскрытия минеральных комплексов при подготовке их к сепарации
5	Выделение продуктивной и непродуктивной фракций минеральных частиц в сепараторах	Физико-химическая обработка массопотока минеральных частиц (легких и тяжелых фракций) реагентными добавками	Повышение эффективности гравитационного извлечения минеральных зерен в концентрат и снижение технологических потерь
6	Физико-химическая обработка взвешенных массопотоков	Смешение взвешенных потоков с дозирующими растворами реагентов	Физико-химическое нарушение устойчивости глинистых суспензий и гидросмесей с дополнительным образованием центров коагуляционных структур
7	Флокуляция минеральных частиц (в том числе и селективная) в движущемся массопотоке	Физико-химическая агрегация минеральных частиц и гравитационное осаждение флокул в технологической воде	Повышение качества разделяющих сред и глубины обогащения мелких фракций ценного компонента
8	Предварительное сгущение и обезвоживание пульпы	Направленное выделение твердой фазы взвешенных частиц гидросмеси путем физико-химического управления процессами хлопьеобразования	Создание локальных и внешних контуров многократного использования воды

№ п/п	Наименование технологических процессов	Физико-химические способы осуществления процесса	Решаемые технические задачи
9	Физико-химическая кольматация поро- вого пространства гале-эфельных по- род	Создание противофилтра- ционного экрана путем дози- рования реагентов кольматан- тов в смеси с осадком взвешенных частиц	Снижение противофилтра- ционных потерь в систе- ме ГТС
10	Складирование сфлуктурированного осадка взвешенных частиц	Размещение и укладка выде- ленных хлопьев в вырабо- танное пространство и созда- ваемые отстойные сооруже- ния	Повышение эффективности горно-технической рекуль- тивации нарушенных зе- мель и комплексности ис- пользования минерального сырья
11	Водоподготовка и кондиционирование сточных и оборот- ных вод	Отстой и осветление техно- логической воды в гидротех- нических сооружениях и ме- ханических аппаратах	Повышение кратности ис- пользования в обороте и снижение экологической нагрузки на прилегающие водотоки
12	Транспортировка осветленной воды к промывочной уста- новке	Забор воды и ее транспор- тирование во внутреннем и внешнем контурах водо- снабжения	Повышение экологической надежности систем оборот- ного водоснабжения транс- портно-обогащительных комплексов

Следует отметить, что чередование процессов физико-химической минералоподготовки может быть и не в той последовательности, как это представлено в табл. 6.6. К примеру, направленное повышение качества технологической воды путем обесшламливания взвешенного массопотока в голове процесса перед разделением минеральных частиц по плотности в гравитационных аппаратах промывочной установки позволяет за счет нетрадиционного построения технологической линии поднять уровень извлечения мелких классов золота до 7 % [56].

### 6.9.1. Технологические (поточные) линии

*Требования, предъявляемые к структуре поточных линий, и методологические основы их построения.*

При создании поточных линий добычи и переработки металлоносных песков важнейшее значение имеют следующие этапы работ:

- выбор технологической схемы и компоновки оборудования;
- решение вопросов, связанных с разделением продуктивной и непродуктивной фракции песков минерального сырья;
- транспортировка массопотоков и гидросмесей;
- складирование хвостов промывки и использование сточных и оборотных вод;
- экологическое обоснование проектных решений;
- прогноз возможных изменений в природной среде, состояния отдельных ее компонентов вследствие строительства транспортно-обогатительных комплексов и эксплуатации сложных глинистых месторождений с использованием интенсифицирующих реагентов.

Теоретическим обоснованием для построения поточных линий добычи и переработки минерального сырья могут служить данные по физико-химическому управлению процессами разупрочнения вмещающих глин и образование хлопьев в транспортируемых массопотоках [56]. Методические принципы построения технологических схем минералоподготовки основаны на возможности направленного физико-химического модифицирования свойств исходных песков и повышения эффективности их дальнейшего обогащения, равно как и глинистых шламов. На основе известных и описанных закономерностей в цепочке «реагент – вмещающие глины песков и глинистые шламы» рекомендуется следующая последовательность их обработки в технологической схеме промывки песков: диспергация глинистых отложений – флокуляция илисто-глинистых шламов – разделение агрегатов по плотности с дальнейшим складированием непродуктивной фракции песков в отвал при многократном использовании технологической воды в обороте (рис. 6.37).



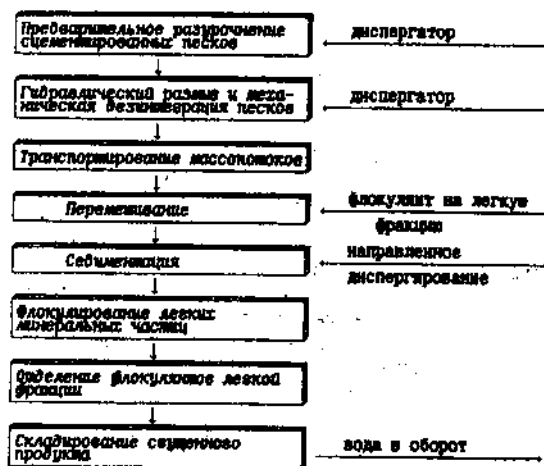


Рис. 6.37. Направленное физико-химическое воздействие на глинистые пески диспергаторами и флокулянтами

К числу специальных физико-химических операций, вводимых в технологическую схему переработки песков, относятся: предварительная обработка реагентами-диспергаторами при дезинтеграции цементированного металлоносного сырья; флокуляция глинистых частиц (в том числе и селективная) в транспортируемых массопотоках непродуктивной фракции песков [56].

На рис. 6.38 представлена поцикловая реализация реагентных методов физико-химической минералоподготовки для эффективной разработки сложных глинистых месторождений. Описание ее отдельных элементов, используемых для практической реализации нетрадиционных технологических схем, приводится ниже.

Основные принципы, реализуемые во вновь создаваемых поточных линиях для добычи и переработки, базируются (по сравнению с базовыми схемами) на введении в них двух новых переделов [56]:

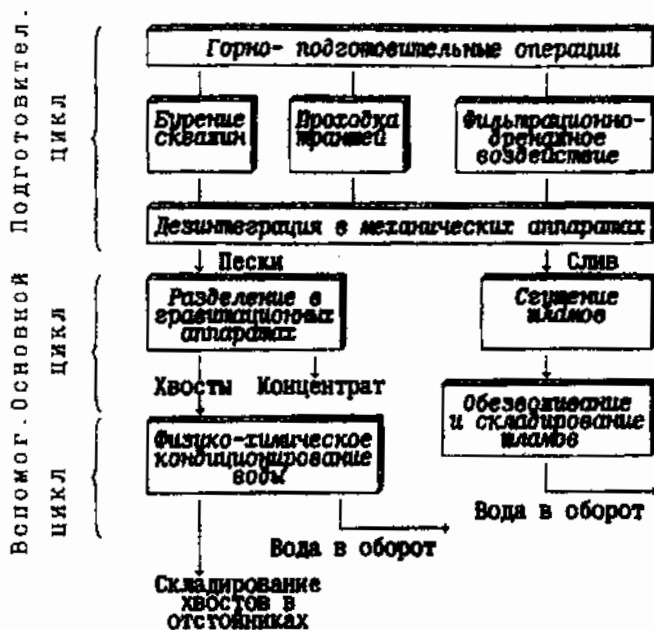


Рис. 6.38. Поцикловая реализация физико-химических методов минералоподготовки в технологии добычи и переработки глинистых песков

– направленная обработка глинистых включений диспергирующими добавками в массиве горных пород месторождений или в дезинтегрирующих аппаратах;

– избирательной обработке потока гидросмесей селективными реагентами с выводами легких и тяжелых фракций.

Подготовительный цикл предусматривает применение реагента-диспергатора для разупрочнения исходных песков [56]. Реагенты можно вносить либо непосредственно в массив, либо в дезинтегрирующие аппараты. На практике такие методы получили название специальных. К их числу относятся:

- разупрочнение глинистых песков с целью интенсификации физико-химического воздействия реагентами-диспергаторами;
- интенсификация реагентного воздействия на глинистые отло-

жения в массиве путем бурения скважин по мощности обрабатываемых песков и закачки в них рабочих растворов реагентов-диспергаторов или внесения сухого вещества (рис. 6.39, а);

– проходка траншей в блоках глинистых песков, подготавливаемых к обогащению и их реагентная обработка с использованием методов фильтрационно-дренажного воздействия (рис. 6.39. б, в).

Проходку канав осуществляют в зависимости от рельефа местности до определенной глубины. Расстояние между канавами при внесении в них реагентов-диспергаторов выбирается в зависимости от водопроницаемости пород и принятой системы разработки глинистых и высокоглинистых месторождений.

Дезинтеграция труднопромывистых песков включает два этапа:

– подготовка песков дезинтеграции в массиве рыхлых отложений, последующее его насыщение раствором реагента. Для этого полигон делится на блоки, которые затем рыхлятся, например, бульдозером. По каждому блоку проходятся канавы или пробуриваются скважины, в них подается раствор реагента-диспергатора. Подготовленный реагентами блок выдерживается в течение 5...7 сут, после чего обрабатывается;

– непосредственная диспергация вмещающих глинистых песков в обогатительном переделе.

Горная масса с подготовленных блоков поступает в приемный бункер, из которого питателем подается в скруббер-бутару, где разделяется на галю (+60 мм) и эфеля (-60 мм). Глинистые шламы из эфелей выводятся на классификатор, в слив которого подается полиакриламидный флокулянт (ПАА-ГС) для обеспечения эффективного гравитационного осаждения илесто-глинистых частиц в отстойнике с целью получения кондиционной по взвесям оборотной воды.

В основном цикле из эфельных хвостов удаляется и обезвоживается фракция песков (-16+0,1 мм), представленная галечником, щебнем, песком. Это стадия грубого обезвоживания осуществляется, например, в типовых спиральных классификаторах.

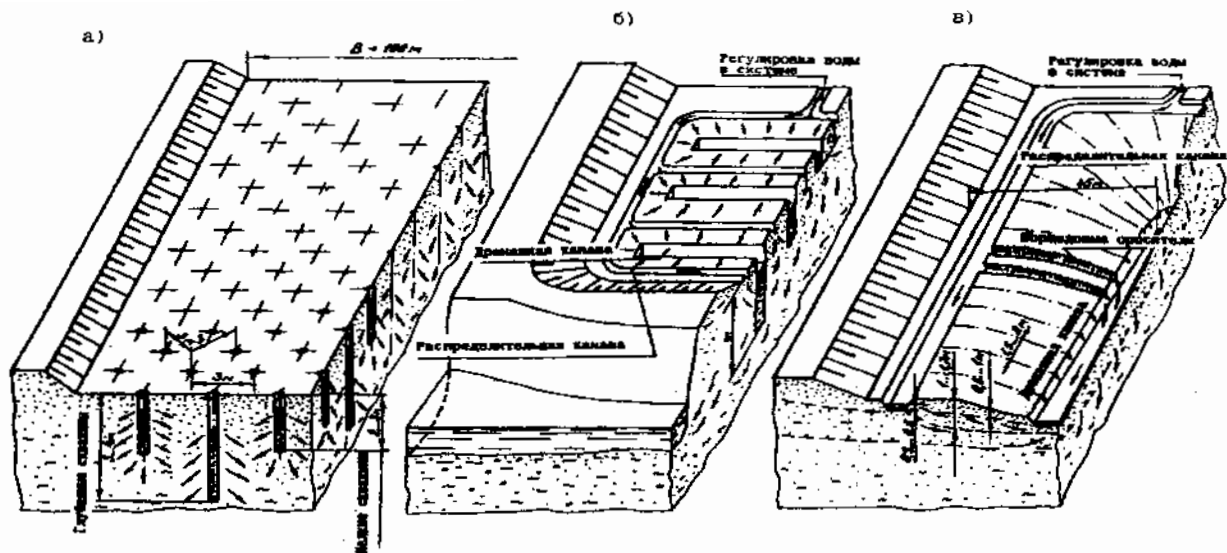


Рис. 6.39. Технологические схемы физико-химической обработки глинистых песков реагентами-диспергаторами в массиве: а) бурение скважин в блоках; б, в – проходка распределительных и дренажных каналов

Слив последних обрабатывается полиакриламидным флокулянт (при расходе 2,8 мг/л) и поступает на сгущение. Для полиэлектролитной обработки сливов сгущения и физико-механического кондиционирования технологической воды применяются блочно-модульные установки [15, 62, 64], включающие реагентную станцию приготовления и дозирования рабочих растворов заданной концентрации, смеситель-хлопьеобразователь, разделитель-осадитель сфлокулированного осадка, запорную аппаратуру.

На выбор поточных линий существенное влияние оказывает категория промывистости песков. Поэтому выбор и компоновку оборудования поточных линий осуществляют прежде всего с учетом фракционного состава сырья и его физико-химических свойств, характеризующих взаимосвязь между разделительными признаками вмещающих минералов и содержанием ценного компонента в песках [56].

Методологические основы компоновки оборудования поточных линий добычи и переработки песков базируются на использовании критериев оптимальности – максимального извлечения ценного компонента из недр и рационального использования природных ресурсов. Сравнение конкурирующих вариантов поточных линий добычи и переработки песков осуществляется с использованием эколого-экономических критериев оптимальности и базируется, в первую очередь, на применении современных ЭВМ.

#### *Реагентная обработка глинистых песков и разновидности технологических схем.*

Технологические схемы направленного модифицирования физико-химических свойств глинистых труднообогатимых песков на любой стадии ведения горных работ могут быть систематизированы следующим образом:

- реагентная обработка глинистых пород в массиве;
- реагентная обработка гидросмесей в поточных линиях транспортно-обогажительных комплексов (рис. 6.40);



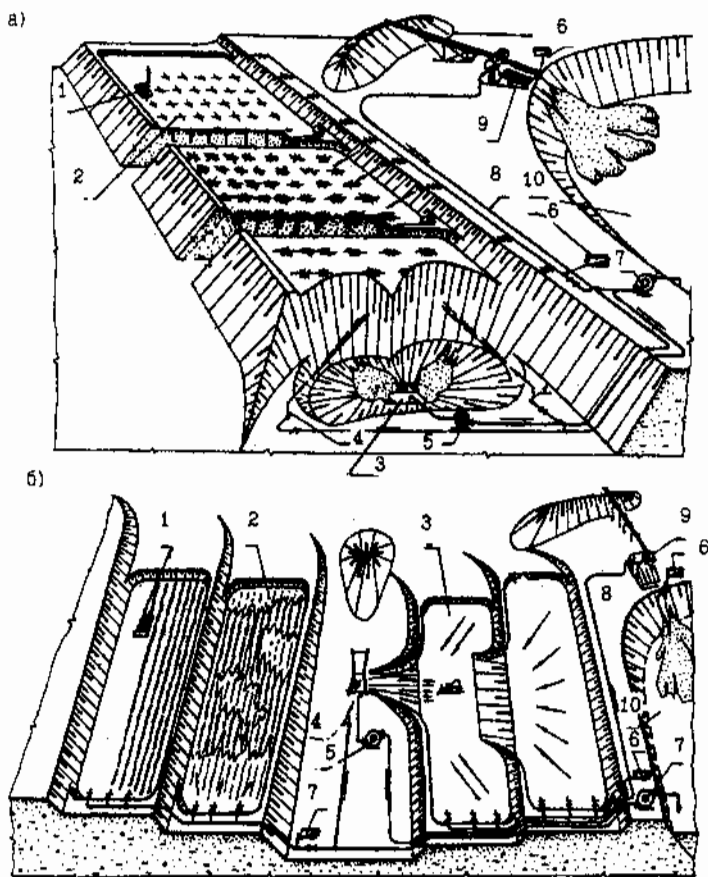
– реагентная обработка минеральных гидросмесей при их разделении на продуктивную и непродуктивную фракции и разделении взвесенесущего массопотока на жидкую и твердую фазы в гидротехнических сооружениях (разрезах, отстойниках, илохранилищах).

Научно обоснованный выбор технологических схем основан на эффекте ослабления сил сцепления глинистых песков в массиве при набухании глин и выщелачивании из них легкорастворимых солей. В качестве основного классификационного признака может быть использована эффективность разупрочнения глинистых пород при обработке их растворами химических реагентов. При этом ослабление сил сцепления глинистых частиц связных песков предложено осуществлять как при статическом, так и динамическом воздействии на них растворов химических реагентов в процессе подготовки горных пород к выемке, либо в процессе их непосредственной добычи. При взаимодействии реагентов с твердой фазой в системе «глина – жидкость» наблюдается уменьшение сил сцепления связных глинистых частиц, входящих в состав цемента труднопромывистых песков.

Использование в качестве диспергаторов глинистого цемента солей, снижающих рН в сторону кислых сред, также благоприятно сказывается на повышении эффективности диспергирования связных труднообогатимых песков из-за частичного растворения и выщелачивания солей из глинистых пород. Эффект от введения солей сказывается не в разрушении порообразующего глинистого минерала, а во влиянии обменных катионов в системе «глина – вода» на толщину слоя ориентированных диполей воды [71]. При обработке глинистого цемента растворами хлористых солей за счет их гидролиза в воде образуется соляная кислота, которая ведет к растворению силиката магния и гидрокарбонатов, а также находящихся в составе минералов коллоидов, что в конечном счете положительно оказывается на размывающей способности труднообогатимых песков [56].

Сущность разработанной фильтрационно-дренажной технологии физико-химической обработки связных песков в массиве (рис. 6.41) заключается в том, что для ослабления сил сцепления глинистых

частиц при фильтрации жидкости через слагающие горные породы раствор реагента подают в призабойную зону в разрезе или вносят в воду при проведении подготовительных работ.



**Рис. 6.41. Скважинная (а) и фильтрационно-дренажная (б) технология реагентной обработки глинистых песков, направляемых на промывку для гравитационного выделения ценного компонента:**

1 – механический рыхлитель; 2 – буровые скважины или технологические борозды; 3 – разрез; 4 – гидромонитор; 5 – землесос; 6 – реагентная станция; 7 – насосная станция; 8 – технологический трубопровод; 9 – промприбор; 10 – выработанное пространство для складирования эфельных хвостов и осветления технологической воды



При затоплении вскрытого участка россыпи водой ее одновременно обрабатывают реагентами-пептизаторами. После реагентной обработки песков дренажная вода собирается для повторного использования ее в обороте.

Для усиления физико-химических воздействий на глинистые породы в массиве их обработку рекомендуется производить реагентно-воздушной смесью, подаваемой на грудь забоя или внесением реагента после предварительного механического рыхления. В другом случае предлагается бурить скважины до плотика и в них нагнетать растворы реагента. Учитывая, что процесс размокания глин протекает более интенсивно в движущемся потоке воды (режим динамического воздействия), в подготовленных блоках дополнительно проходят траншеи для вымывания и выноса мелких частиц породы.

Новый передел в технологической цепочке транспортно-обогажительных комплексов предусматривает обработку потока гидросмеси легких и тяжелых минеральных зерен селективными флокулянтами (рис. 6.42) для образования прочных мостичных связей на твердой поверхности частиц перед их разделением в гравитационных аппаратах. Выбор точек ввода полиэлектролитов в схеме цепи обогащительных аппаратов базируется на возможности получения прочно связанных ассоциатов из минеральных зерен и критических режимов разрушения сформированных флокул в турбулентных потоках улавливающих аппаратов. Перемешивание минеральных зерен в потоке с рабочим раствором полиэлектролитов рекомендуется осуществлять в смешительных устройствах или за счет естественного водотока транспортируемой гидросмеси.

Для усовершенствования техники и технологии разделения хвостов промывки песков россыпей разработано несколько вариантов схем обработки глинистых шламов селективными полиэлектролитами [62, 66, 76] (рис. 6.43):

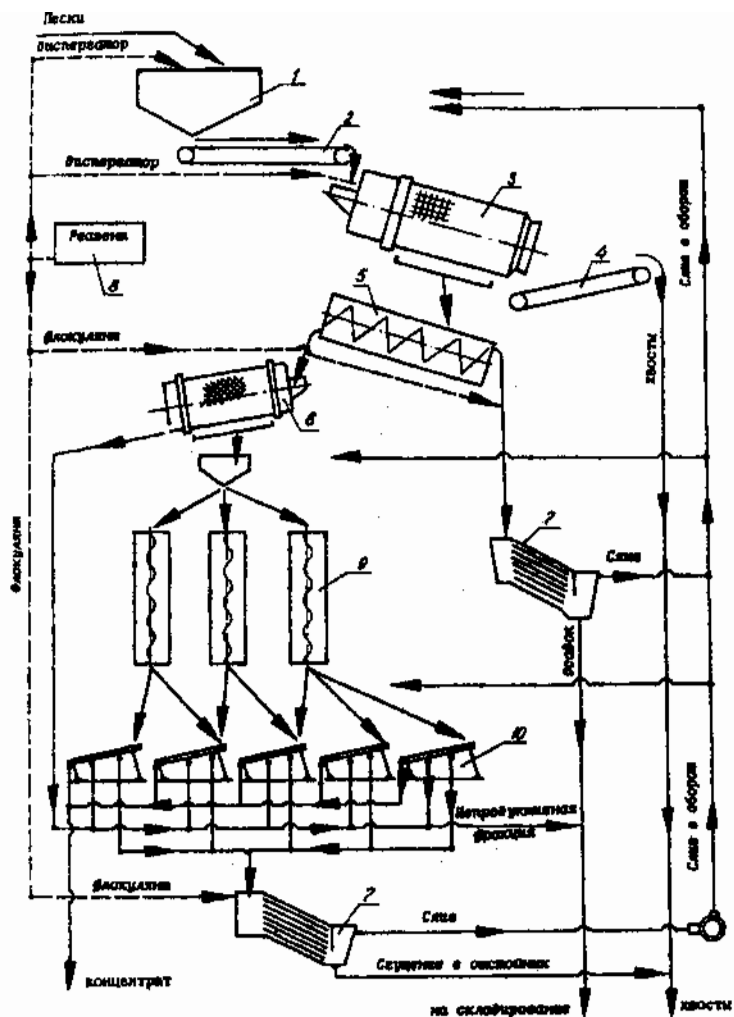


Рис. 6.42. Аппаратурная компоновка технологической схемы переработки труднообогатимых глинистых песков при их реагентной обработке:  
 1 – приемный бункер; 2 – питатель; 3 – скруббер-бутава; 4 – ленточный обвалообразователь; 5 – классификатор; 6 – барабанный грохот; 7 – тонкослойный разделитель; 8 бункер; 9 – винтовой сепаратор; 10 – концентрационные столы

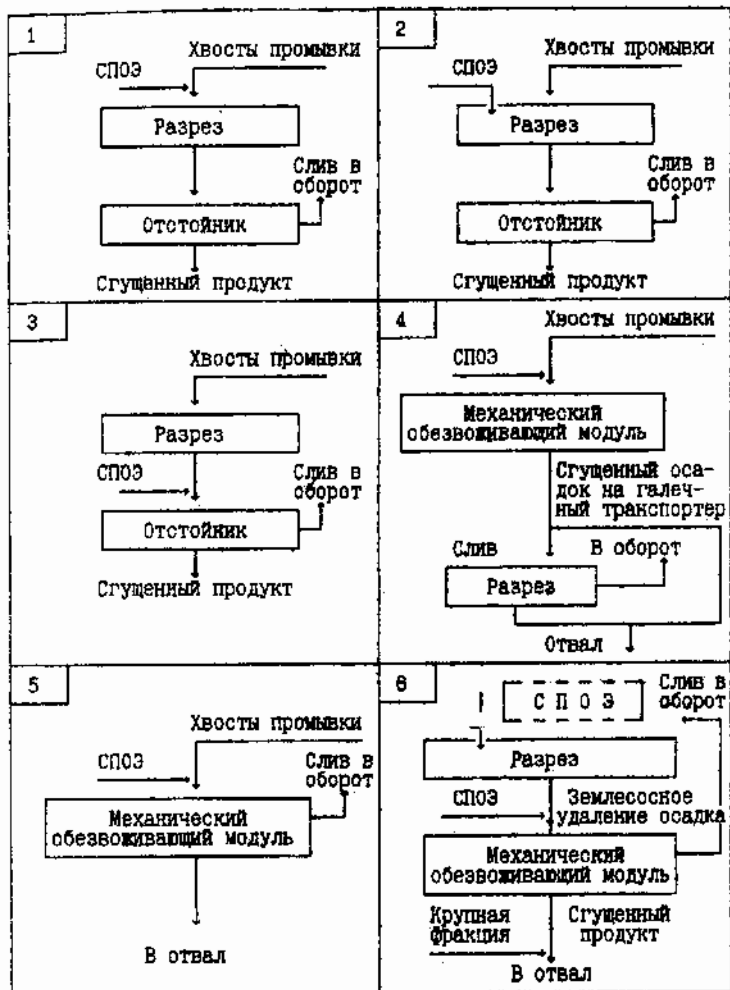


Рис. 6.43. Разновидности технологических схем реагентной обработки хвостов промывки песков селективными полиэлектролитами (СПОЭ)

– варианты 1, 4, 5 основаны на физико-химическом воздействии на транспортируемые потоки гидросмеси для интенсификации процессов сгущения взвешенных частиц в гидротехнических сооружениях;

– варианты 2, 3 предполагают послойную обработку илистого-глинистых фракций растворами реагента в замкнутых разрезах и отстойниках с учетом особенностей ведения горных работ [62, 66, 73, 76].

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные факторы, влияющие на выбор технологической схемы обогащения песков.
2. Приведите примеры технологических схем для обогащения легкообогатимых золотосодержащих песков
3. Назовите основные достоинства и недостатки шлюзовой технологии обогащения.
4. Каким образом можно повысить эффективность шлюзовых схем обогащения?
5. Какие схемы рекомендуются для обогащения труднообогатимых россыпей?
6. Приведите примеры шлюзо-отсадочных схем обогащения.
7. Чем определяется выбор схем с отсадочной технологией обогащения?
8. Приведите примеры развитой технологии обогащения золотосодержащих песков.
9. Назовите отличительные особенности технологии обогащения техногенных россыпей.
10. Какие основные методы включают схемы доводки золотосодержащих концентратов?
11. В чем заключается сущность физико-химической геотехнологии подземного выщелачивания?
12. Раскройте сущность технологии поточных линий для обогащения металлоносных песков.
13. Приведите примеры технологических процессов, используемых в поточных линиях добычи и переработки песков.

**Рекомендуемая литература**

1. Бочаров В.А. Технология обогащения золотосодержащего сырья: учеб. пособие для вузов / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина. – М.: Руда и металлы, 2003. – 408 с.
2. Замятин О.В. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О.В. Замятин, А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1975. – 264 с.
3. Замятин О.В. Технологическая эффективность отсадочной технологии золотосодержащих песков / О.В. Замятин, В.М. Маньков, С.В. Томин // Цв. металлы. – 1991. – № 11.
4. Замятин О.В. Современные технологии обогащения золотосодержащих песков россыпных месторождений / О.В. Замятин, В.М. Маньков // Горн. журн. – 2001. – № 5.
5. Ковалёв А.А. Интенсификация процессов гравитационного обогащения золотосодержащих россыпей / А.А. Ковалёв. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. – 200 с.

## 7. ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ВОДОТОКОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

### 7.1. Защита поверхностных водотоков от загрязнения

Технология обогащения золотосодержащих песков и техногенных образований сопряжена с относительно большим расходом технологической воды, используемой для дезинтеграции и обогащения песков. В среднем на  $1 \text{ м}^3$  песков расходуется до  $18 \text{ м}^3$  воды. Из-за низкой экологической надежности систем водоснабжения транспортно-обогащительных комплексов (промприборов, модульных установок и передвижных фабрик) и больших объемов нарушения земель природной среде наносится значительный ущерб [70].

При промывке глинистых песков в технологической воде накапливаются взвешенные частицы ( $200 \dots 300 \text{ г/л}$ ), значительно усложняющие работу технологического оборудования.

Нарушение технологического режима работы оборудования и изменение реологических свойств воды при накоплении взвесей приводит к существенным потерям металла, особенно мелких классов крупности. Суммарные потери при этом могут достигать  $30 \dots 40 \%$ . По выполненным сравнительным оценкам [56], содержания взвешенных частиц в технологической воде, не оказывающие влияния на показатели извлечения ценного компонента при промывке золотосодержащих песков, весьма разнятся и составляют  $20 \dots 50 \text{ кг/м}^3$ . Разные пороговые значения содержания взвешенных частиц в технологической воде, очевидно, связаны с различным минералогическим, химическим, дисперсным составом накапливаемых в ней взвесей, а также горно-геологическими и горно-техническими условиями разработки месторождений.

Полиминеральная твердая фаза технологических вод представлена, как правило, смесью нерудных (кварц, глинистых) и рудных минералов. Глинистые минералы представлены гидрослюдой, монтмориллонитом и каолинитом. Плотность взвешенных частиц лежит в

диапазонах 2300...3500 кг/м<sup>3</sup>. Электрокинетический потенциал взвешенных частиц в воде достигает 50 мВ. По данным практики, частный выход весьма мелких коллоидных частиц, крупностью -5 мкм, в технологической воде достигает 50 %.

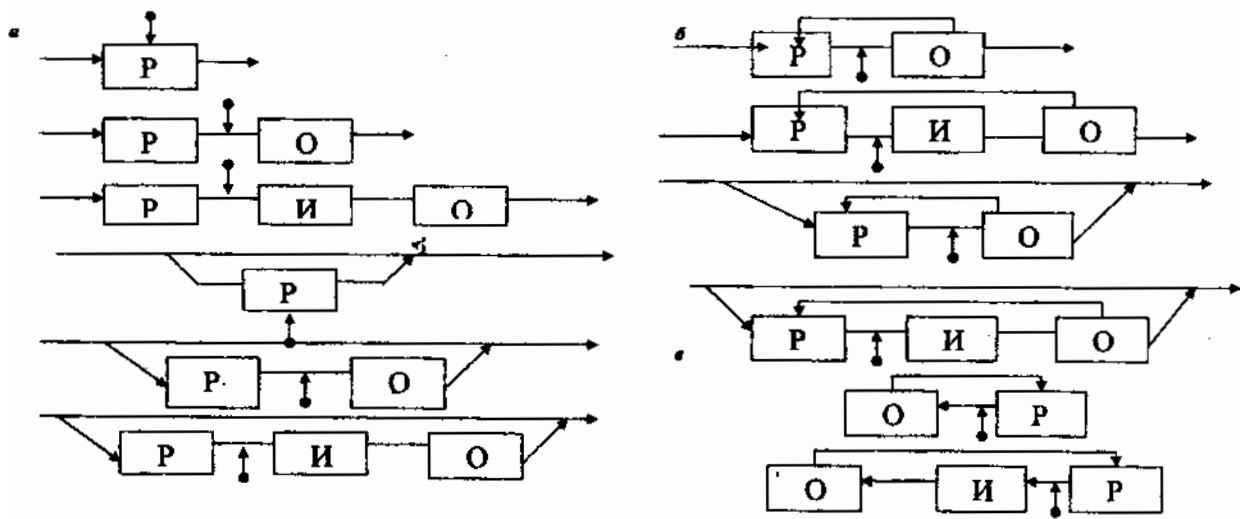
К числу других распространенных загрязняющих примесей сточных вод относятся нефтепродукты, попадание которых обусловлено утечками при работе землеройной техники. Их содержание в прилегающих водотоках может достигать десятых долей единиц. Ввиду низкой растворимости нефтепродуктов сточные воды содержат их, главным образом, в виде эмульгированных всплывающих или тонущих примесей [45].

При промывке металлоносных песков иногда прослеживается закисление сточных вод, обусловленное содержанием в песках высокорастворимых сульфатов минералов железа и цинка.

При содержании в горных породах эксплуатируемых месторождений органических веществ и окисленных железистых минералов сточные воды могут приобретать различную цветность.

По способу использования воды и водообеспечению промывочных установок и драг при разработке россыпей выделяют схемы прямоточного, обратного и бесточного водоснабжения (рис. 7.1).

Прямоточная схема водоснабжения предусматривает использование в технологическом процессе свежей воды из водотока и последующую ее очистку в комплексе очистных сооружений. При этом используется полный или частичный дебит источника водозабора (рис. 7.1, а). Схема обратного водоснабжения предусматривает многократное использование сточных вод, прошедших стадию кондиционирования в технологическом процессе. При этом сброс стоков в водотоки частично или полностью исключен. Забор свежей воды осуществляется только для возмещения безвозвратных потерь (рис. 7.1, б).



**Рис. 7.1. Схемы водоснабжения промприборов и драг:**  
*P* – разрез; *O* – отстойник; *И* – илохранилище; *P* – точка ввода реагентов;  
 → – направление водного потока: в прямоточных (а), обратных (б); бессточных схемах (в)

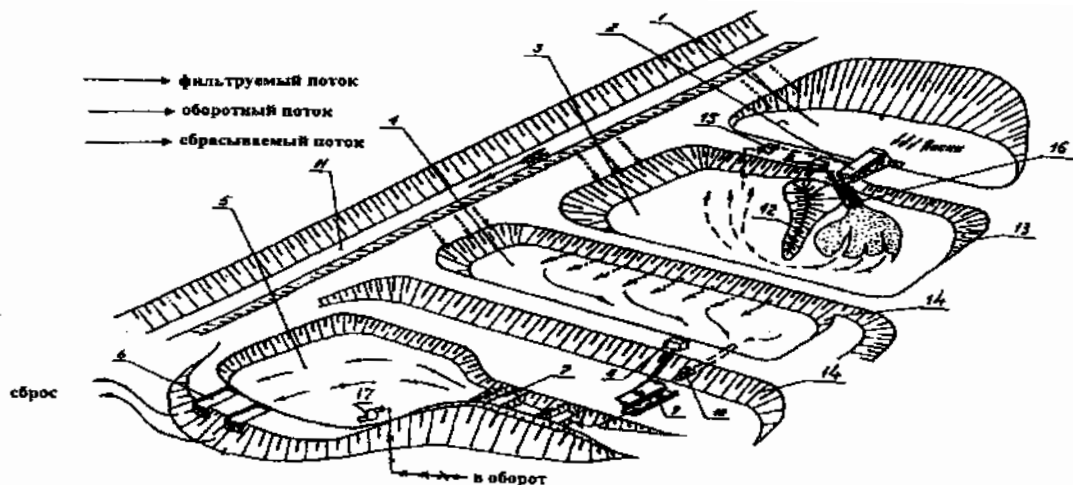


Бессточные схемы водоснабжения являются разновидностью оборотного водоснабжения и характеризуются использованием ограниченного объема воды при отсутствии поверхностного стока из системы (рис. 7.1, в). Восполнение безвозвратных потерь воды в системе осуществляется за счет грунтовых и дренажных вод. В настоящее время прямоточные схемы водоснабжения при разработке россыпей используются лишь в исключительных случаях и при наличии экономически надежного комплекса очистных сооружений.

В зависимости от горно-геологических, горнотехнических условий и особенностей вещественного состава россыпи используют различные способы кондиционирования воды. Наиболее широкое распространение получили процессы отстаивания и удаления загрязняющих примесей из воды в специально создаваемых отстойниках. Как показывает практика эксплуатации отстойных сооружений, они способны обеспечивать высокие показатели очистки от грубодисперсных взвешенных частиц, и поэтому их можно рекомендовать в качестве предварительной стадии водоподготовки. В тоже время при значительном содержании в воде тонкодисперсных глинистых веществ, которые не осаждаются под действием гравитационных сил, осветление в отстойниках малоэффективно.

Кроме того, при строительстве большого числа отстойных сооружений возрастают затраты на строительство гидротехнических сооружений и происходит отчуждение значительных площадей земельных угодий. В связи с этим наиболее перспективным является применение комбинированных методов водоподготовки [45, 56, 70, 74] на основе гравитационных и физико-химических методов очистки.

Предложены и разработаны различные патентозащищенные технические решения по защите природных водотоков от загрязнения [56, 74, 132]. На рис. 7.2 представлен один из разработанных комплексов.



**Рис. 7.2. Природоохранный комплекс по защите поверхностных водотоков от загрязнения:**  
 1 – призабойное устройство; 2 – шлюз; 3, 4, 5 – отстойник для очистки и разделения отходов; 6 – фильтр глубокой доочистки; 7 – транспортирующий лоток; 8 – реагентная станция; 9 – смеситель-хлоьеобразователь; 10 – трубный водослив; 11 – природный водосток; 12 – струемаправляющая дамба; 15, 17 – насосы; 16 – обезвоживающий модуль

Природоохранные комплексы предусматривают создание двух контуров – внутреннего и внешнего водоснабжения.

Локальный контур внутреннего водоснабжения базируется на технологии предварительного кондиционирования технологической воды и последующего выделения твердой фазы из транспортируемого массопотока хвостов обогащения, что достигается путем сооружения струенаправляющих и водоудерживающих дамб с противофильтрационными экранами, и оснащения промывочных установок передвижными обезвоживающими модулями. Наиболее технологичными обезвоживающими модулями являются спиральные классификаторы, батарейные гидроциклоны, грохоты и тонкослойные сгустители.

Внешний контур кондиционирования основан на процессах гравитационного сгущения пульпы, флокуляции твердой фазы отходов в транспортирующем массопотоке и сорбции загрязняющих примесей в специальных разделительных установках.

Физико-химическая обработка полиминеральных суспензий производится путем смешения их с рабочими растворами реагентов в смесителях – хлопьеобразователях, предусматривающих регулирование градиента скорости перемешивания гидросмеси. Характеристика применяемых реагентов приведена в методических рекомендациях [45].

Установлено, что наиболее предпочтительным является использование не отдельных полиэлектролитных комплексов, а их совместное применение при определенном соотношении в смеси. При этом наиболее качественные показатели очистки получены при применении смеси реагентов на основе полиакриламидных флокулянтов и простых электролитов, представленных различными типами хлоридных солей. Оптимальный расход реагентов зависит от концентрации загрязняющих примесей и от степени их дисперсности. Целесообразный расход реагентов составляет для коагулянтов 20...50 г/м<sup>3</sup>, для флокулянтов – 2...7 г/м<sup>3</sup>.

Сформированные хлопья, выделенные из транспортирующих массопотоков, поступают в отстойник, откуда модифицированный

илисто-глинистый осадок подается на фильтрующую поверхность грунта, а осветленная вода используется в обороте.

Предлагаемый природоохранный комплекс позволяет:

- повысить технологические и экономические показатели водочистки;
- увеличить многократность использования воды в обороте, а в отдельных случаях резко сократить водопотребление за счет снижения фильтрационных потерь и в системах водоснабжения;
- повысить производительность транспортно-обогажительных комплексов при меньших эксплуатационных затратах на гидротехнические сооружения;
- обеспечить экологическую безопасность и жизнедеятельность водоемов, прилегающих к горным работам.

## **7.2. Рекультивация нарушенных земель**

Разработка россыпей приводит к значительным изменениям ландшафтов. Основными видами нарушения земель при гидромеханизованном и дражном способах разработки являются дражные и гидромеханизированные полигоны, отвалы вскрышных пород, галечные отвалы, земельные выемки и насыпи для строительства гидротехнических сооружений.

Рекультивация нарушенных земель при производстве горных работ осуществляется на основании проектной документации, разработанных технических условий в соответствии с календарным планом отработки месторождения.

Объем и трудоемкость работ по рекультивации определяется степенью нарушения земель горными работами, их площадью и объемом, зависящих от ряда факторов. К основным из этих факторов относятся параметры залегания продуктивных пород, технология разработки, схемы складирования вскрышных пород и хвостов промывки.

Процесс восстановления земель разделяется на два этапа. На первом этапе (горнотехническая рекультивация) выполняется комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых в процессе эксплуатации месторождений. В этот этап входят работы по вылаживанию откосов, планировке откосов, нанесение плодородного слоя почвы, а также мелиорационные работы и другие работы, необходимые для приведения нарушенных земель в состояние, пригодное для использования их по назначению.

На втором этапе (биологическая рекультивация) – выполняются агротехнические и мелиоративные мероприятия по восстановлению плодородия нарушенных земель после завершения на них рекультивации (озеленение, создание благоприятных для деятельности ландшафтов) и мероприятия по возвращению этих земель под сельскохозяйственное использование, а также по освоению в рыбохозяйственных целях водоемов, образовавшихся при ведении горных работ.

Преобладающим направлением рекультивации при разработке россыпей является сельскохозяйственное, занимающее по объему примерно 80 %. Водохозяйственное и сельскохозяйственное направления составляют соответственно 11 и 8 %. Строительное направление рекультивации составляет порядка 0,5 %.

### ***Контрольные вопросы***

1. Назовите основные загрязняющие примеси сточных вод промприборов и драг.
2. Перечислите основные схемы водоснабжения.
3. Назовите методы очистки сточных вод.
4. Раскройте этапы рекультивации нарушенных земель.
5. Перечислите направления рекультивации нарушенных земель.

### **Рекомендуемая литература**

1. Мязин В.П. Замкнутое водоснабжение транспортно-обога-  
тельных комплексов / В.П. Мязин, О.В. Литвинцева, Г.Ю. Попова // *Хозяйственно-питьевые сточные воды: проблемы очистки и исполь-  
зования: материалы науч.-практ. конф.* – Пенза, 1996. – С. 79-82.

2. Мязин В.П. Повышение эффективности переработки глини-  
стых золотосодержащих песков / В.П. Мязин. – Чита, 1998.

3. Мязин В.П. Рекультивация нарушенных земель при разработ-  
ке месторождений Забайкалья / В.П. Мязин. – Чита: ЧитГТУ ООО  
«Экосервис», 1996. – 82 с.

4. Мязин В.П. Проектирование горно-обогатительного произ-  
водства (охрана окружающей среды): учеб. пособие / В.П. Мязин,  
В.И. Мязина, Н.Б. Насоловец. – Чита: ЧитГУ, 2004. – 198 с.: ил.

5. Мязин В.П. Методические указания по применению водорас-  
творимых полимеров для кондиционирования воды при разработке  
россыпных месторождений / В.П. Мязин, С.С. Тимофеева. – Иркутск,  
1995. – 96 с.

## 8. ОПРОБОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

### 8.1. Методы контроля процессов обогащения

Контроль технологического процесса должен быть обязательным звеном в комплексе работ по обогащению золотосодержащих песков.

Основной целью контроля является оценка состояния технологического процесса и выявление причин снижения его эффективности.

Для оценки эффективности технологического процесса проводят оперативный (систематический) и балансовый (периодический) контроль [90].

Оперативный контроль должен обеспечивать своевременное получение необходимой информации о состоянии технологического процесса, позволяющей выявить нарушения в работе технологического оборудования, случаи повышенных потерь золота и устранять их.

Оперативный контроль осуществляют следующими методами:

- визуальным наблюдением за работой обогатительного оборудования;
- косвенной оценкой эффективности технологической операции;
- опробованием отвальных продуктов обогащения.

Визуальные наблюдения позволяют выявить причины грубых нарушений технологического процесса и принимать соответствующие меры по их устранению.

Косвенные методы оценки эффективности технологических операций позволяют оценить состояние обогатительного процесса и фиксировать количественные потери золота, но с высокой погрешностью.

Оперативный контроль методом опробования отвальных продуктов применяется для более точной количественной оценки эффективности различных технологических операций.

Балансовый контроль проводят с целью количественной оценки эффективности обогатительных операций и составления полного технологического баланса продуктов обогащения и золота. Он осуществляется опробованием продуктов обогащения и анализом их на содержание золота.

## 8.2. Способы отбора проб

Опробование продуктов обогащения является основным методом оценки технологической эффективности работы обогатительного оборудования драг, промывочных приборов и модульных обогатительных установок. По результатам опробования составляют технологический баланс, выявляют основные источники потерь золота. Для получения достоверных результатов опробования необходимо обеспечивать представительность получаемых проб.

Необходимые минимальные объемы, определяющие их представительность, зависят от ситового состава и содержания золота в этом продукте (табл. 8.1, 8.2) [95].

Т а б л и ц а 8 . 1

Минимально необходимое число точечных проб и минимально необходимые объемы объединенных проб хвостовых продуктов основных шлюзов или отсадочных машин [95]

Крупность золота в опробуемом продукте обогащения, мм	Объемы объединенных проб продуктов обогащения с различным содержанием золота, м <sup>3</sup>			Число осечек точечных проб
	0,08 г/м <sup>3</sup>	0,05 г/м <sup>3</sup>	0,02 г/м <sup>3</sup>	
Мельче 0,25	0,20	0,30	0,50	100
Мельче 0,15	0,04	0,07	0,15	50
Мельче 0,10	0,03	0,04	0,07	25



Минимально необходимые объемы объединенных проб и минимально-необходимое число отсечек точечных проб при опробовании различных продуктов обогащения [95]

Продукты обогащения	Объемы объединенных проб продуктов обогащения, л	Число отсечек точечных проб
Хвостовой продукт гидравлических установок, работающих без предварительной классификации	400-1600	25-100
Надрешетный продукт барабанных грохотов	500-1000	30-50
Хвостовой продукт основных шлюзов, отсадочных машин	150-250	80-100
Хвостовой продукт доводочных шлюзов, перечистных отсадочных машин	40-70	30-50
Хвостовой продукт концентрационных столов, сливы обезвоживателей	не менее 15	не менее 20

Объемы проб и соответственно выходы продуктов обогащения определяют в основном методом приведенных объемов, который учитывает объем собственно зернистой фракции без учета пустот. При таком методе объем пробы гали следует брать в монолите (объем тары минус объем заливаемой воды). Установленный таким путем объем будет соответствовать действительному объему песков. При однородном гранулометрическом составе гали действительный объем пробы можно определить с учетом коэффициента разрыхления. Коэффициент разрыхления зависит от крупности и колеблется в пределах 1,05...1,09.

Объем пробы эфелей определяют во влажном состоянии после уплотнения путем встряхивания.

Технологические показатели по результатам опробования определяют по методике, изложенной в рекомендациях по контролю процесса обогащения золотосодержащих песков [95].

### **8.3. Методы определения содержания золота в исходных песках и продуктах обогащения**

При опробовании отвальных продуктов на драгах, промывочных приборах, а также при изучении вещественного состава золотосодержащих россыпей пробы для определения в них содержания золота подвергают предварительной концентрации. Концентрация позволяет перевести золото в небольшую, пригодную по объему для анализа пробу.

В табл. 8.3 приведены рекомендуемые институтом ОАО «Иргиредмет» методы обработки и анализа проб бедных золотосодержащих продуктов в зависимости от крупности и содержания золота.

При опробовании на обогатительных комплексах для подготовки проб рекомендуется использовать полевые обогатительные установки, техническая характеристика которых представлена в табл. П.4.7.

#### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите методы контроля технологического процесса
2. От чего зависит минимально необходимое число точечных проб и их объем?
3. Какие методы применяют для определения содержания золота в пробах?
4. Каково назначение операций предварительной концентрации проб?
5. Опишите методы подготовки проб к анализу.

Возможные методы обработки и анализа бедных проб, содержащих мелкое золото (по данным Иргиредмета – ЦНИГРИ)

Продукты	Крупность золота, мм	Содержание золота, г/т	Метод подготовки пробы к анализу	Методы анализа
Зернистый материал	-0,3 +0,1	При любом содержании золота в россыпи	Концентрация на столе, амальгамация концентрата, цианирование хвостов с осаждением растворенного золота на стол	Пробирный анализ, химический анализ смолы
			Концентрация на столе, амальгамация концентрата, флотация хвостов	Пробирный анализ
			Концентрация на столе, амальгамация концентрата, концентрация хвостов в короткоконусном гидроциклоне	Пробирный анализ
	Менее 0,1	Более 0,2	Квартование навески по 0,3...0,5 кг	Пробирный анализ
	Менее 0,1	Менее 0,2	Цианирование, осаждение на столе	Химико-физический анализ смолы
Илистый материал	Менее 0,1	Более 0,2	Квартование навески по 0,3...0,5 кг	Пробирный анализ
	Менее 0,1	Менее 0,2	Цианирование, осаждение на столе	Химико-физический анализ смолы
	Менее 0,074	Более 0,2	Концентрация в короткоконусном гидроциклоне	Пробирный анализ концентрата
Илистый, шламистый материал	- 0,074	10-3...10-6	Без применения предварительной концентрации	Атомно-абсорбционный
Мелкозернистые хвосты, содержащие тонкое золото	-0,016	10-3...10-6	Без применения предварительной концентрации	

**Рекомендуемая литература**

1. Козин В.З. Опробование и контроль технологических процессов обогащения: учебник для вузов / В.З. Козин. – М.: Недра, 1985. – 294 с.
2. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О.В. Замятин, А.Г. Лопатин, Н.П. Санникова, А.Д. Чугунов. – М.: Недра, 1975. – 264 с.
3. Пробоотбирание и анализ благородных металлов: справочник / И.Ф. Барышников [и др.] – 2-е изд. – М.: Metallургия, 1978. – 432 с.
4. Рекомендации по контролю процесса обогащения золотосодержащих песков / под ред. О.В. Замятина [и др.]. – Иркутск: Иргиредмет, 1991. – 55 с.
5. Соломин К.В. Обогащение песков россыпных месторождений полезных ископаемых / К.В. Соломин. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по горн. делу, 1961. – 400 с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Золотосодержащие пески россыпных месторождений продолжают оставаться наиболее выгодным минеральным сырьем для промышленного освоения.

Сырьевая база россыпных месторождений до сих пор остается устойчивой и достаточно привлекательной. Однако золотосодержащие пески и техногенное сырье в большинстве своем перешли из категории легкообогатимых в труднообогатимые с повышенным содержанием мелкого и особо мелкого золота. Использование традиционных методов гравитационного обогащения не позволяет достичь высоких технологических показателей.

По данным анализа технических решений, опыта работы отечественных и зарубежных предприятий установлено, что уровень развития техники и технологий извлечения золота россыпных месторождений и техногенных образований резко возрос. Появились новые высокопроизводительные ресурсосберегающие аппараты. Усовершенствована методология построения развернутых технологических схем и их аппаратного оформления, что позволяет повысить производительность и глубину обогащения золота, в том числе и мелких классов крупности. Изготовлены новые поколения шлихообогатительных установок, позволяющих повысить комплексность использования сырья.

В свете намеченных задач подготовки высококвалифицированных специалистов по технологии обогащения благородных металлов потребовались:

- оценить разработанные классификации россыпных месторождений с учетом способов их разработки, особенностей вещественного состава и совершенства методов обогащения песков;
- дать комплексную минералого-технологическую оценку золотосодержащих песков и техногенных образований, учитывающих особенности вещественного состава минерального сырья с целью обоснования и разработки высокоэффективных технологий извлечения золота и тяжелой фракции шлихов;
- обобщить разработанные теоретические основы разделения минерального сырья в обогатительных аппаратах с учетом эффективности и глубины обогащения золотосодержащих песков;
- сравнить уровень разработок новых процессов, аппаратов и технологий, обеспечивающих рентабельную и экологически безопасную глубины переработки золотосодержащих песков в условиях изменения сырьевой базы и повышенного содержания мелких классов крупности ценного компонента;
- проанализировать развивающиеся направления модернизации дезинтегрирующих устройств и конструкций транспортно-обогачительных комплексов с учетом особенностей промывистости песков и

экологической безопасности технологий;

- сравнить достигнутый уровень эффективности процессов дезинтеграции и грохочения песков за счет технического и конструктивного совершенствования обогатительного оборудования;

- оценить параметры и режимы работы обогатительного оборудования с учетом особенности гранулометрического состава золота и песков;

- проанализировать новые процессы и конструктивные особенности оборудования, используемого для подготовки золотосодержащих песков и техногенного сырья к обогащению, обеспечивающих существенное энергосбережение и эффективность использования гравитационных технологий;

- выделить в качестве нетрадиционных методов извлечения золота подземное выщелачивание с использованием специальных растворителей;

- проанализировать достигнутый уровень по созданию высокоэффективных горнообогатительных комплексов для извлечения мелкого и тонкого золота на основе нового аппаратурного оформления и компоновки технологических схем;

- выделить задачи по решению экологических проблем, связанных с компонентами природной среды, за счет внедрения замкнутых систем водоснабжения транспортно-обогатительных комплексов и рекультивации земель, нарушенных горными работами;

- провести анализ ранее и ныне действующих технологических схем обогащения песков, методов и средств контроля за режимами работы транспортно-обогатительных комплексов.

Намеченные задачи в свете требований по повышению уровня знаний и качества подготовки специалистов требуют комплексного подхода к широко используемому сырью россыпных месторождений и технологии обогащения песков и техногенных образований с обязательной увязкой и гармоничным сосуществованием с природоохранными мероприятиями и безопасностью жизнедеятельности.

## ГЛОССАРИЙ

**Амальгамация** – способ извлечения металлов из руд или концентратов при помощи ртути. При смачивании ртутью благородные металлы образуют амальгамы и отделяются от пустой породы.

**Галля** – грубозернистый материал россыпи, не содержащий, как правило, золота.

**Дезинтеграция** – разрыхление материала с целью высвобождения зерен полезных компонентов и удаление связующей фракции.

**Кондиционирование** оборотной воды – обеспечение такого качества воды, которое не снижает технологические показатели обогащения достигнутые, при использовании свежей воды.

**Магнитогидродинамическая сепарация (МГД-сепарация)** – процесс разделения твердых частиц минерального сырья по плотности, магнитной восприимчивости и электропроводности.

**Магнитнофлокуляционная сепарация (МФ-сепарация)** – способ обогащения, основанный на использовании сфлокулированных из ферромагнитных частиц объемных структур в качестве улавливающей среды – постели для золота и других тяжелых немагнитных минералов.



**Поточная линия** – это технологически рассчитанный и взаимозависимый в цикле горных работ набор скомпонованного оборудования для получения готовой продукции.

**Рекультивация** нарушенных земель – комплекс технических, инженерных, мелиоративных, сельскохозяйственных и иных видов работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей природной среды.

**Россыпные месторождения (россыпи)** – это рыхлые или сцементированные отложения песчано-глинисто-галечных обломочных пород, содержащие полезные минералы в промышленных концентрациях.

**Селективная флокуляция** – метод избирательной агрегации зерен ценного компонента при адсорбции на них химических реагентов-флокулянтов или коагулянтов.

**Шламы** – мелкозернистый песчаный материал и часть отложений, крупностью -5 мм.

**Шлихи** – минералы плотностью более  $3500 \text{ кг/м}^3$ , при обогащении или промывке песков, концентрирующихся в мелкой фракции песков.

**Флокуляция** – это процесс нарушения устойчивости суспензии путем объединения отдельных частиц в агрегаты посредством макромолекул водорастворимых полимеров – флокулянтов.

**Цианирование** – гидрометаллургический процесс извлечения металлов из руд и концентратов, основанный на селективном растворении их в слабых растворах цианидов щелочных металлов.

**Эфеля** – песчано-галечный зернистый материал, содержащий золото.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева Г.С. Переработка и обогащение полезных ископаемых россыпных месторождений / Г.С. Андреева, С.Я. Горюшкина, В.П. Небера. – М.: Недра, 1992. – 410 с.
2. Аренс В.Ж. Физико-химическая геотехнология: учеб. пособие / В.Ж. Аренс. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 656 с.
3. Беневольский Б.И. Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы / Б.И. Беневольский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ЗАО «Геоинформарку», 1995.
4. Берт Р.И. Технология гравитационного обогащения / Р.И. Берт. – М.: Недра, 1990. – 574 с.
5. Богданов Е.И. Обогащение морских россыпей / Е.И. Богданов. – СПб., 2000.
6. Богданов Е.И. Оборудование для транспорта и промывки песков россыпей / Е.И. Богданов. – М.: Недра, 1978. – 240 с.
7. Бочаров В.А. Технология обогащения золотосодержащего сырья: учеб. пособие для вузов / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина. – М.: Руда и металлы, 2003. – 408 с.
8. Вещественный состав и обогащение руд и россыпей Восточного Забайкалья: справ. пособие / под ред. В.П. Мязина, Л.Ф. Наркелюна. – Чита: Поиск, 2001. – 320 с.
9. Назаров В.В. Водоснабжение и очистка сточных вод при разработке россыпных месторождений / В.В. Назаров, Ю.М. Чикин, В.Р. Личаев. – М.: Недра, 1975. – 159 с.
10. Воробьев А.Е. Опыт скважинного подземного выщелачивания золота в России / А.Е. Воробьев, Т.Е. Чекушина // Горн. журн. – 1999. – № 5. – С. 55-57.
11. Временная инструкция по применению и контролю приборов и измерительных устройств для учета использования вод // ЦНИИКИБР. – Минск, 1976.
12. Геология россыпей / под ред. В.И. Смирнова. – М.: Наука, 1965. – 400 с.
13. Добрынин А.А. Золотодобывающая промышленность Рос-

сии. Проблемы и перспективы (заметки с III Международной выставки и конфушизм «Золото-2001») // Горн. журн. – 2001. – № 5.

14. Драгоценные металлы. Драгоценные камни // Бюл. экономико-правовой и деловой информации. – 1997. – № 5.

15. Дрободенко В.П. Влияние загрязненности воды на потери металла, износ оборудования и затраты на водоснабжение. / В.П. Дрободенко, В.М. Селезнев // Цветметинформация: охрана окружающей среды. – М., 1975. – 65 с.

16. Евдокимов С.И. Применение флотации при обогащении россыпного золота / С.И. Евдокимов, М.П. Казимиров, А.Б. Солоденко // Горн. журн. – 2002 – № 2.

17. Мязин В.П. Замкнутое водоснабжение транспортно-обогащительных комплексов / В.П. Мязин, О.В. Литвинцева, Г.Ю. Попова // Хозяйственно-питьевые сточные воды: проблемы очистки и использования: материалы науч.-практ. конф. – Пенза, 1996. – С. 79-82.

18. Совершенствование базовых технологических схем обогащения песков на драгах и промывочных приборах / О.В. Замятин [[и др.]] // Горн. журн. – 1994. – № 11. – С. 46-48.

19. Замятин О.В. Современные технологии обогащения золото-содержащих песков россыпных месторождений / О.В. Замятин, В.М. Маньков // Горн. журн. – 2001. – № 5.

20. Применение развитой технологии для извлечения мелкого золота из песков россыпных месторождений / О.В. Замятин [[и др.]] // Сб. науч. тр. (посвящ. 130-летию ин-та «Иргиредмет»). – Иркутск, 2001. – С. 302-314.

21. Замятин О.В. Технологическая эффективность отсадочной технологии золотосодержащих песков / О.В. Замятин, В.М. Маньков, С.В. Томин // Цв. металлы. – 1991. – № 11.

22. Золотодобыча России XIX-XX веков и современные технологии причиненного ею экологического ущерба / В.В. Кармазин, В.П. Мязин, О.И. Рыбакова, В.А. Измалков, С.Б. Татауров. – М.: Науч.-техн. центр «Горно-обогатит. модульные установки», 2000. – 39 с.

23. Иванов В.Д. Винтовые аппараты для обогащения руд и пес-

ков в России / В.Д. Иванов, С.А. Проконьев. – М.: МГУ: Дакси, 2000. – 239 с.

24. Использование коагулянтов и флокулянтов для повышения извлечения мелких зерен ценного компонента при разработке глинистых россыпей / В.П. Небера [[и др.]] // Колыма. – 1983. – № 7. – С.22-24.

25. Казимиров М.П. Технология и оборудование для повторной обработки золотоносных песков / М.П. Казимиров, А.Б. Солоденко // Горн. журн. – 2002. – № 2. – С. 50-56.

26. Кистеров К.В. Геолого-промышленный фактор в развитии мировой золотодобычи / К.В. Кистеров, К.К. Ильковский // Горн. журн. – 1999. – № 5. – С. 12-15.

27. Кармазин В.В. Технологические возможности магнитно-флокуляционной сепарации тонких классов руд россыпных месторождений / В.В. Кармазин, Н.И. Закиева // Горн. информ.-аналит. бюл. – 1995. – № 4. – С. 60-62.

28. Кармазин В.В. Новые методы извлечения мелкого золота при отработке россыпных и техногенных месторождений / В.В. Кармазин, Р.И. Исаков, В.П. Мязин, А.Б. Солоденко // Горн. журн. – 1999. – № 5. – С. 45-49.

29. Кармазин В.В. Магнитные и электрические методы обогащения / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. – М.: Недра, 1988. – 304 с.

30. Карасев К.И. О возможности подземного скважинного выщелачивания золота из россыпных месторождений в Забайкальском регионе / К.И. Карасев, Л.Х. Гуревич, А.Е. Беляков // Вестник. спец. вып. – 2004. – Т. 9, № 6. – С. 66-70.

31. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения / Б.В. Кизевальтер. – М.: Недра, 1979.

32. Кириченко И.П. Химические способы добычи полезных ископаемых / И.П. Кириченко. – М.: АН СССР, 1958. – 102 с.

33. Ковалёв А.А. Интенсификация процессов гравитационного обогащения золотосодержащих россыпей / А.А. Ковалёв. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. – 200 с.

34. Ковлеков И.И. Новый способ извлечения золота из техно-

генных песков / И.И. Ковлеков // Горн. журн. – 2002. – № 2. – С. 47-50.

35. Ковлеков И.И. Техногенное золото Якутии / И.И. Ковлеков – М.: Изд-во МГГУ, 2002. – 303 с.

36. Кокташев А.Е. Состояние и пути совершенствования технологии промывки золотоносных песков / А.Е. Кокташев, П.Е. Егупов – Магадан, 1967. – 25 с.

37. К проблеме извлечения золота из песков техногенных россыпных месторождений / А.А. Потемкин, А.Е. Сенченко, Д.Г. Манух, П.К. Федотов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Спец. вып. – 2003. – С. 60-67.

38. Литвинцева О.В. Повышение эффективности физико-химического кондиционирования сточных оборотных вод при промывке железенных золотосодержащих песков: автореф. дис. канд. техн. наук / О.В. Литвинцева. – Чита: ЧитГТУ, 1995. – 23 с.

39. Литвинцева О.В. Очистка воды и стоков // Межвуз. сб. науч. тр. / НИИ Высоких напряжений. – М., 1994. – С. 119-123.

40. Личаев В.Р. Руководство по выбору и проектированию систем водоснабжения, водоотведения и способам подготовки при разработке россыпных месторождений / В.Р. Личаев, А.В. Есиновская, Ю.М. Чикин. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1990. – 160 с.

41. Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: в 2 т. / В.В. Лодейщиков. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999. – Т. 1. – 342 с.

42. Лопатин А.Г. Центробежное обогащение руд и песков / А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1987.

43. Маньков В.М. Извлечение мелкого золота из песков россыпных месторождений / В.М. Маньков, О.Р. Замятин, В.С. Томин // Техника и технология для извлечения мелкого самородного золота: материалы междунар. шк.-семинара. – Иркутск, 1996. – С. 10-30.

44. Маньков В.М. Совершенствование технологии обогащения песков с целью эффективного извлечения мелкого золота / В.М. Маньков, В.С. Томин // Анализ, добыча и переработка полезных ископаемых: сб. науч. тр. – Иркутск, 1998. – С. 121-143.

45. Мязин В.П. Методические указания по применению радио-

нальных водоохраных комплексов на промышленных предприятиях / В.П. Мязин, К.И. Карасев, А.М. Возмилов. – Чита: ЧитПИ, 1990. – 84 с.

46. Митин Л.А. Отсадочная машина с подвижным решетом «Труд-12» / Л.А. Митин, В.И. Луцько // Цв. металлургия. – 1991. – № 12. – С. 16-17.

47. Митин Л.А. Комплексная технологическая схема обогащения золотосодержащих песков с использованием отечественного оборудования / Л.А. Митин, Г.А. Жаленц // Горн. журн. – 1999. – № 5.

48. Минералоподготовка как категория рационального использования минерально-сырьевых ресурсов / Г.В. Секисов, В.П. Мязин, Ю.С. Шевченко, А.А. Ковалев // Горн. журн. – 1992. – № 1. – С. 33-37.

49. Мязин В.П. Анализ технических решений при переработке золотосодержащих руд и песков // Материалы конгресса обогатителей. – М., 2005.

50. Мязин В.П. Анализ потерь металла при промывке глинистых золотосодержащих песков // Обогащение руд: межвуз. сб. – Иркутск, 1978. – С. 197-208.

51. Мязин В.П. Защита водотоков от загрязнения сточными водами драг и промприборов при разработке россыпных месторождений в зоне БАМ // Разработка россыпных месторождений: межвуз. сб. – М., 1987. – С. 124-133.

52. Мязин В.П. Нормирование качества технологической воды при промывке золотосодержащих песков // Обогащение руд: сб. науч. тр. – Иркутск, 1984. – С. 50-55.

53. Мязин А.В. Обоснование и переработка технологических схем комплексного использования золотосодержащих шлихов // Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья: Плаксинские чтения: тр. междунар. совещ. – Чита: ЧитГТУ, 2002. – С. 158-161.

54. Мязин В.П. Обоснование и нормирование показателей технологической воды при гравитационных методах обогащения золотосодержащих песков (предпроектная и проектная стадия работ): метод. указания / В.П. Мязин. – Чита: ЧитГТУ, 1997. – 20 с.

55. Мязин В.П. Первая научная конференция по геолого-технологической изученности минерального сырья: материалы конф. – Чита: ЧитГТУ, 1997. – С. 4-10.

56. Мязин В.П. Повышение эффективности переработки глинистых золотосодержащих песков: учеб. пособие. Ч. 2 / В.П. Мязин. – Чита: ЧитГТУ, 1996. – 119 с.

57. Мязин В.П. Природоохранный комплекс по защите водотоков от загрязнения сточными водами промприборов и драг // Горн. журн. – 1996. – № 9-10.

58. Мязин В.П. Прогнозирование развития новой техники и технологий по переработке золотосодержащего сырья в XXI веке // V конгресс обогатителей стран СНГ: материалы конгр. – М., 2005. – Т. 1 – С. 18-22.

59. Мязин В.П. Развитие научного направления по созданию эффективных безопасных технологий переработки труднообогатимых металлоносных песков в условиях оборотного водоснабжения // Вестн. Чит. политехн. ин-та. – М., 1994. – Вып. 1. – С. 32-39.

60. Мязин В.П. Рекультивация нарушенных земель при разработке месторождений Забайкалья / В.П. Мязин. – Чита: ЧитГТУ; ООО «Экосервис», 1996. – 82 с.

61. Мязин В.П. Сертификация и управление качеством минеральной продукции горнодобывающего комплекса: учеб. пособие / В.П. Мязин. – Чита: ЧитГТУ, 2001. – 160 с.

62. Мязин В.П. Физико-химическая технология минералоподготовки при добыче и первичной переработке песков россыпных месторождений // Технология минерального сырья: теория и практика. – Улан-Удэ, 2000. – С. 38-47.

63. Мязин В.П. Учасенный сполоск концентрата со шлюзов и устройство для его реализации в транспортно-обогатительных комплексах / В.П. Мязин, Л.Н. Гаджала // Технические науки, технологии и экономика: материалы науч.-практ. конф. – Чита, 2002. – С. 82-93.

64. Перспективные направления совершенствования техники и технологии магнитно-флокуляционной сепарации золотосодержащих руд и песков / В.П. Мязин [и др.] // Горн. журн. – 2002. – № 2. – С. 56-

59.

65. Приоритетные направления ЧитГТУ в области разработки и совершенствования техники и технологий магнитно-флокуляционной сепарации / В.П. Мязин, Р.Б. Закиев, Н.И. Закиева, О.И. Рыбакова // Забайкалье на пути к устойчивому развитию: экология, ресурсы, управление: 2-я Междунар. конф.: материалы конф. – Чита, 2001. – Ч. 1. – С. 141-144.

66. Мязин В.П. Весомый эффект интенсивных технологий. Ускорение научно-технического прогресса в горнодобывающем комплексе Забайкалья на основе внедрения новых технических решений / В.П. Мязин, К.И. Карасев // Недра Востока. – 1993. – № 12. – С. 9-13.

67. Геологические особенности россыпных месторождений Забайкалья и технологические схемы их переработки: учеб. пособие / В.П. Мязин, Ю.Я. Кошелев, О.В. Литвинцева, Н.И. Закиева. – Чита: ЧитГУ, 2000. – 45 с.

68. Мязин В.П. Создание и внедрение ресурсосберегающей природоохранной технологии для освоения труднообогатимых золотосодержащих россыпных месторождений / В.П. Мязин, А.Ю. Лавров, В.Г. Черкасов // Недра Востока. – 1993. – № 12. – С. 38-42.

69. Мязин В.П. О некоторых аспектах управления качеством промысловой воды для рационального использования минеральных ресурсов при разработке россыпей / В.П. Мязин, В.В. Мазалов // Разработка россыпных месторождений: межвуз. сб. – М., 1988. – С. 101-114.

70. Мязин В.П. Проектирование горно-обогачительного производства (охрана окружающей среды): учеб. пособие / В.П. Мязин, В.И. Мязина, Н.Б. Насоловец. – Чита: ЧитГУ, 2004. – 198 с.

71. Мязин В.П. Оптимизация поточно-циклической технологии переработки труднообогатимых россыпей / В.П. Мязин, В.П. Небера // Научные основы построения оптимальных схем обогащения минерального сырья. – М., 1990. – С. 157-163.

72. Мязин В.П. Разработка и совершенствование технологий и оборудования по извлечению золотосодержащей амальгамы и токсичных соединений ртути из техногенных образований / В.П. Мязин,



С.Б. Татауров // Горн. информ.-аналит. бюл. – 1997. – № 1.

73. Мязин В.П. Методические указания по применению водорастворимых полимеров для кондиционирования воды при разработке россыпных месторождений / В.П. Мязин, С.С. Тимофеева. – Иркутск, 1995. – 96 с.

74. Мязин В.П. Обратное водоснабжение комплексов на базе новых технологических решений / В.П. Мязин, В.Г. Черкасов // V Конгресс обогатителей стран СНГ: материалы конгр. – М., 2005. – Т. 1. – С. 155-157.

75. Мязин В.П. Разработка систем водооборота для мобильных обогатительных фабрик / В.П. Мязин, В.Г. Черкасов // Обогащение руд. – 2004. – № 2. – С. 35-37.

76. Мязин В.П. Совершенствование технологии переработки золотосодержащих песков с использованием систем замкнутого водоснабжения промприборов / В.П. Мязин, В.Г. Черкасов, В.В. Кармазин // Горн. журн. – 1996. – № 9-10. – С. 23-27.

77. Небера В.П. Флокуляция минеральных суспензий / В.П. Небера. – М.: Недра, 1982. – 288 с.

78. Невский Б.В. Обогащение россыпей / Б.В. Невский. – М.: Metallurgizdat, 1947.

79. Никифоров К.А. Неравновесные процессы в технологии переработки минерального сырья / К.А. Никифоров, Г.И. Хантургаева, А.Н. Гуляшинов. – Новосибирск: Наука, 2002. – 184 с.

80. Новые методы извлечения мелкого золота при разработке россыпных и техногенных месторождений / В.В. Кармазин [и др.] // Горн. журн. – 1999. – № 5. – С. 45-49.

81. Новые процессы извлечения мелкого золота из отвалных продуктов / В.В. Кармазин, О.И. Рыбакова, В.А. Измалков, С.Б. Татауров // Горн. журн. – 2002. – № 2. – С. 71-77.

82. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О.В. Замятин, А.Г. Лопатин, Н.П. Санникова, А.Д. Чугунов – М.: Недра, 1975. – 264 с.

83. Обогащение полезных ископаемых: конспект лекций / В.П. Мязин [и др.]. – Чита: ЧитГТУ, 1999. – 123 с.

84. Овсейчук В.А. Геотехнологические методы добычи и переработки урановых и золотосодержащих руд: учеб. пособие / В.А. Овсейчук, Ю.Н. Резник, В.П. Мязин. – Чита: ЧитГУ, 2005. – 315 с.: ил.

85. Овчаренко Ф.Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов / Ф.Д. Овчаренко. – Киев: АН УССР, 1961. – 291 с.

86. Опытные-промышленные испытания технологии подземного выщелачивания золота из окисленных руд Маминского месторождения / А.Ф. Панченко [и др.] // Сб. науч. тр. (посвящ. 130-летию ин-та «Иргиредмет»). – Иркутск, 2001. – С. 249-263.

87. Перспективные направления совершенствования техники и технологии магнито-флокуляционной сепарации золотосодержащих руд и песков / В.П. Мязин, Р.Б. Закиев, Н.И. Закиева, О.И. Рыбакова // Горн. журн. – 2002. – № 2. – С. 56-61.

88. Подготовка глинистых россыпей к драгированию с использованием реагентов-диспергаторов / В.П. Мязин, М.В. Костромин, Н.В. Зыков, Л.В. Кирик // Кольма. – 1990. – № 6. – С. 12.

89. Подземное выщелачивание золота (состояние и проблемы) / Панченко А.Ф., Лодейщиков В.В., Хмельницкая О.Д. [и др.] // Сборник научных трудов (посвящен 130-летию института «Иргиредмет»). – Иркутск, 2001. – С. 232-248.

90. Польшкин С.И. Обогащение руд и россыпей редких металлов / С.И. Польшкин. – М.: Недра, 1967 – 615 с.

91. К проблеме извлечения золота из песков техногенных россыпных месторождений / А.А. Потемкин, А.Е. Сенченко, Д.Г. Макух, П.К. Федотов // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. Спец. вып. – 2003. – № 9. – С. 60-67.

92. Хатькова А.Н. Применение циолиитсодержащих туфов Сибири и Дальнего Востока для очистки сточных вод горнодобывающих предприятий / А.Н. Хатькова, В.П. Мязин, К.И. Карасев. – Чита: ЧитГУ, 1996. – 75 с.

93. Природоохранный комплекс по защите водотоков от загрязнения сточными водами промприборов и драг / В.П. Мязин, О.В. Литвинцева, Г.Ю. Попова, С.Ю. Сапожников // Горн. журн. –

1996. – № 9-10. – С. 35-38.

94. Развитие обогащения полезных ископаемых в тяжелых средах / Г.Д. Краснов [и др.] // Переработка минерального сырья: сб. АН СССР, Ин-т физики земли. – М., 1976. – С. 5-24.

95. Рекомендации по контролю процесса обогащения золото-содержащих песков / под ред. О.В. Замятина [и др.]. – Иркутск: Ирри-редмет, 1991. – 55 с.

96. Реологические свойства ферросилициевых суспензий и методы их измерения / В.И. Классен [и др.] – М.: Недра, 1972. – 112 с.

97. Рожков И.С. Условия формирования и типы золотоносных россыпей // Тр. ЦНИГРИ. – М., 1967. – Вып. 76. – С. 3-22.

98. Романчук А.И. Оценка возможности попутного извлечения золота из месторождений песчано-гравийных материалов / А.И. Романчук, А.И. Никулин // Горн. журн. – 1999. – № 5. – С. 50- 52.

99. Россыльные месторождения России и других стран СНГ (минерагения, промышленные типы, стратегия развития минерально-сырьевой базы) / отв. ред. Н.П. Лаверов, Н.Г. Патык-Кара. – М: Науч. мир, 1997. – 479 с.

100. Садковский Б.П. Теоретические обоснования и экспериментальные исследования новых аппаратов на основе гидравлического и сегрегационного разделения – гравитационных угловых концентраторов / Б.П. Садковский. – М.: Изд-во МГТУ, 2002. – 164 с.

101. Создание технических средств реализации физико-химических методов воздействия на гидросмеси с целью повышения технологических показателей обогащения и перехода на экологически безопасные технологии переработки минерального сырья / В.П. Мязин [и др.] // Вестн. Чит. политехн. ин-та. Юбилейн. вып. – М., 1995. – С. 133-143.

102. Солоденко А.Б. Обогащение россыпей золота «МАВР» / А.Б. Солоденко, С.И. Евдокимов, М.П. Казимиров. – Владикавказ, 2001. – 430 с.

103. Седельникова Г.В. Кучное выщелачивание – перспективный способ переработки золото-содержащих кор выветривания / Г.В. Седельникова, Г.С. Крылова // Горн. журн. – 1999. – № 5. – С. 53-

55.

104. Соломин К.В. Обогащение песков россыпных месторождений полезных ископаемых / К.В. Соломин. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по горн. делу, 1961. – 400 с.

105. Спирин К.А. Тиокарбомидная технология переработки золотосодержащих продуктов и концентратов: учеб. пособие / К.А. Спирин, В.П. Мязин, И.П. Смирнов. – Чита: ЧитГУ, 2000. – 60 с.

106. Справочник по обогащению руд. Основные процессы / под ред. О.С.Богданова. – 2-е изд., перераб. и под. – М.: Недра, 1983. – 381 с.

107. Справочник по переработке россыпей / В.П. Березин, В.Г. Лешков, Л.П. Мацуев, С.В. Потемкин. – М.: Недра, 1973. – 592 с.

108. Тарасова Т.Б. Оценка содержаний мелкого и тонкого золота в россыпях различных генетических типов и возможности его извлечения (на примере месторождений республики Бурятия) / Т.Б. Тарасова, В.М. Маньков, С.А. Пешкова // Сб. науч. тр. (посвящ. 130-летию ин-та «Иргиредмет»). – Иркутск, 2001. – С. 328-346.

109. Тихонов О.Н. Введение в динамику массопереноса процессов обогащения полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1973. – 240 с.

110. Тихонов С.А. Метод извлечения тонкодисперсного и плавающего золота // Колыма. – 1969. – № 6. – С. 24-26.

111. Троицкий В.В. Промывка полезных ископаемых / В.В. Троицкий. – М.: Недра, 1978. – 255 с.

112. Федотов К.В. Практика извлечения труднообогатимого золота из россыпных месторождений / К.В. Федотов, С.Б. Леонов // Горн. журн. – 1998. – № 9.

113. Федотов К.В. Практика освоения мелких и средних коренных месторождений модульными фабриками / К.В. Федотов, А.А. Потемкин, В.И. Белобородов // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. – 2003. – № 9. – С. 4-15.

114. Федотов К.В. Механизм сепарации золотосодержащего минерального сырья в безнапорном центробежном сепараторе / К.В. Федотов, А.Л. Романченко // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. Спец. вып. – 2003. – № 9. – С. 60-66.

115. Фоменко Т.Г. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых / Т.Г. Фоменко. – М.: Недра, 1986. – 332 с.

116. Фоменко Т.Г. Водно-шламовое хозяйство углеобогащительных фабрик / Т.Г. Фоменко, В.С. Бутовецкий, В.М. Погарцева. – М.: Недра, 1974. – 272 с.

117. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1982. – 299 с.

118. Черняк А.С. Основы биотехнологии металлов: учебное пособие-монография / А.С. Черняк. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2002. – 102 с.

119. Шанаурин В.Е. Обогащение россыпей / В.Е. Шанаурин. – М.: Недра, 1970. – 248 с.

120. Шило Н.А. Основы учения о россыпях / Н.А. Шило. – М.: Наука, 1997. – 379 с.

121. Шохин В.Н. Гравитационные методы обогащения: учеб. для вузов / В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1993.

122. Центробежно-гравитационное извлечение мелкого золота из россыпей / В.М. Маньков, О.В. Замятин, А.Г. Лопатин, В.Т. Козловский // Научно-технический прогресс в обогащении полезных ископаемых: материалы Междунар. конгр. – Стокгольм, 1988. – С. 94-100.

123. Экологически безопасные методы повышения эффективности кондиционирования сточных и оборотных вод передвижных обогащительных фабрик // Горн. информ. аналит. бюл. – М., 1995. – Вып. 3. – С.47-50.

124. А.с. 1480205 СССР. Способ извлечения тонкодисперсного золота из россыпей и устройство для его осуществления / Е.Е. Андреев, С.А. Гладков, О.А. Тихонов (СССР). – Бюл. № 5.

125. А.с. 37877 НРБ. Способ и устройство для обогащения на шлозах / В. Атанасов, А. Анастасов, И. Исаков (СССР). – Заявл. 09.02.84; опубл. 27.09.85.

126. А.с. 83307 СССР. Магнитный концентрационный стол / А.И. Козуров (СССР). – Опубл. БИ, 1965, № 14.

127. А.с. 830694 СССР, МКИ В 03 В 1/00. Способ очистки полезных ископаемых от глины. / В.П. Мязин, Я.И. Иващенко (СССР). – № 2675014/22-03; заявл. 10.10.78; опубл. 14.01.81, Бюл. № 26. – 4 с.

128. А.с. № 691566 СССР, МКИ Е 21 С 41/02. Способ подготовки грунта к разработке / В.П. Мязин, А.С. Кустов, Т.С. Потапова, А.В. Поляков (СССР). № 2601462122-03; заявл. 05.04.78; опубл. 15.10.79, Бюл. № 38. – 4 с.

129. А.с. 1129781 СССР, МКИ В 03 В 5/70. Устройство для обогащения полезных ископаемых / Д.Ю. Мусин, В.А. Недорезов, В.П. Мязин (СССР). – № 3394331/29-03; заявл. 16.12.81; опубл. 15.08.84, Бюл. № 14. – 4 с.

130. А.с. № 1478442 СССР, МКИ В 03 В 5/70. Устройство для обогащения полезных ископаемых / В.П. Мязин, Д.Ю. Мусин, В.А. Недорезов, К.В. Мязин (СССР). – № 4150395/23-03; заявл. 21.11.86; опубл. 8.01.89, Бюл. № 16. – 5 с.

131. А.с. № 778805 СССР, МКИ В 03 В 7/00. Диспергатор для дезинтеграции глинистых песков / В.П. Мязин, Т.С. Потапова (СССР). – № 2700504/22-03; заявл. 25.11.78; опубл. 15.11.80, Бюл. № 42. – 6 с.

132. Пат. 1756479, СССР, МКИ Е 03 В 1/04, Е 02 В 9/00. Система оборотного водоснабжения промывочной установки при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых / В.П. Мязин, А.Г. Близнацкий, В.Д. Проценко, В.П. Батуев, С.Н. Синьков, Ю.А. Савченко (СССР). – № 4784933/25; заявл. 27.10.89; опубл. 23.08.92, Бюл. № 31. – 4 с.: ил.

133. Пат. 571597 Австралия. Magnetic recovery means / С.Н. Таулоу. – Заявл. 26.10.83; опубл. 21.04.88.

134. Pachejjeff B. Magnetic sluice box with high contact ability for heavy fine minerals / B. Pachejjeff, J. Nishrjv, S. Stoev. // Prep. of XII-th Int. Pressions Metals Conf. – Montreal, 1989. – P. 25-260.

Геолого-технологическая характеристика россыпных месторождений золота и золотосных кор выветривания

Наименование россыпи, поверхности водоток	Тип месторождения (россыпи)	Значение мощности и разрез рыхлых отложений	Характеристика продуктивной фракции пляста	Промышленность песков	Крупность, пробыность, форма золота	Средний выход черного шлама, кг/м <sup>3</sup> . Преобладающие в нем минеральные комплексы (попутчики)
Чашино-Ильдижанская, р. Средняя Борзк	Аллювиальная долинная, техногенная в верховьях, аллювиально-элювиальная, аллювиально-делювиальная	6-12 м; почвенно-растительный слой (до 0,5 м); песчано-глинистые пойменные отложения (0,5-3,5 м); слой галечника с примесью гравия, песка, древесины (4-5 м); элювий коренных пород (0,2-1,0 м)	Бурые галечники с примесью гравия и дресвы, связанные песчано-глинистым цементом	Легкая	Мелкое и очень мелкое; 829-915; уплощенная, реже изометрическая, золотины окатанные, полуокатанные и неокатанные +2 - 1,38 %; -2 + 1 - 6,0 %; -1 + 0,5 - 15,4 %; -0,5 + 0,25 - 56,58 %; -0,25 - 20,64 %	Магнетит, ильменит, циркон, сульфиды, шеслит, монацит, касситерит
Утени, р. Амазар	Долинная (длина - 106 км, средний уклон - 0,0035)	2,7-4,8 м; Аллювиальные отложения представлены преобладающими галечниками с прослойками песка и гравия и небольшим количеством глины. Золотосный пласт приурочен к нижним слоям галечников. Состояние плотика благоприятное, породы трещиноватые, разборные, легко дренируемые	Валувиюность составляет 10 - 15 %, глинистость - до 5 %	Легкая	Подавляющая часть золотинок уплощенная пластинчатая, лепешковидная, реже комковидная. На золотилах встречается лимонитовые рубашки; -0,25 - 0,8 % -0,5 + 0,25 - 39,3 % -1 + 0,5 - 39,7 % -2 + 1 - 10,1 % +2 - 2,9 %	Ильменит, циркон, касситерит, монацит, вольфрамит, киноварь, галенит, пирит

Наименование россыпи, поверхностный водоток	Тип месторождения (россыпи)	Значение мощности и разрез рыхлых отложений	Характеристика продуктивной фракции пласта	Промышленность песков	Крупность, пробытность, форма злата	Средний выход черного шлика, кг/м <sup>3</sup> . Преобладающие в нем минеральные комплексы (попутчики)
Большой Зерентуй, р. Б. Зерентуй	Долинная, аллювиальная со сложной многоструктурной морфологией, техногенная	10 м; почвенно-растительный слой (0,2-0,5 м); песчано-глинистые отложения с редкими валунами и галькой (1,0-3,5 м); галечники бурого, серого цвета с песчано-глинистым цементом (1,0-4,5 м); элювиальные отложения (0,5-1,0 м)	Продуктивный пласт песков приурочен к нижним слоям галечников на песчано-галечном цементе с незначительными валунами	Легкая и средняя (островная мерзлота - 30-35 %)	Более 80 % класса крупности < 1 мм. Зерна полуокатанные, неокатанные (небольшое количество). Частичное покрытие золотных «железных рубашкой». Комковатая, неправильная, таблитчатая	Магнетит, ильменит < 40 %, пирит < 40 %
Бичектуй, р. Арда	Долинная корытообразная, небольшая, террасовая, (продольный уклон 0,0053)	1,5-4,5 м; плотик россыпи сложен мезозойскими сланцами, легко разборный, щебенистый. Золотоносный пласт приурочен к нижнему слою галечников, наблюдается опускание пласта в слой щебенисто-глинистого элювия	Высокая окатанность гальки, которая представлена интрузивными, эффузивными, метаморфическими и осадочными породами	Средняя	Золотники частично окатаны и полуокатаны, преимущественно пластинчатой формы; +2 - 11,5 %; -2 + 1 - 5,9 %; -1 + 0,5 - 49,2 %; -0,5 + 0,25 - 26,2 %; -0,25 + 0,1 - 6,9 %; -0,1 - 0,3 %	Ильменит, магнетит, ширкон, рутил, касситерит, шешелит, монацит, галенит, ширкон радиоактивный, барит, киноварь, сфен, арсенопирит



Наименование россыпи, поверхностный водоток	Тип месторождения (россыпи)	Значение мощности и разрыхлых отложений	Характеристика продуктивной фракции пласта	Промысловость песков	Крупность, пробоность, форма золота	Средний выход черного шлама, кг/м <sup>3</sup> . Преобладающие в нем минеральные комплексы (полуточки)
Кавыкта, р. Бугарихты	Долинная (длина – 9 км, средняя ширина – 200 м, уклон долины – 0,012)	2,15 м; почвенно-растительный слой (0,1-0,3 м); суглинок и супесь со щебнем (1,0-2,5 м); песчано-глинистые отложения (0,3-0,8 м); гравийно-галечно-песчаные отложения (0,5-1,0 м); элювиальные отложения (0,2-2,4 м)	Окатанность гальки в вершине долины плохая, в низовьях – хорошая; галька (-200 + 20 мм) – 15 %; мелкая галька (-20 + 5 мм) – 10 %	Легкая, средняя	Форма золотин амёбовидная, пластинчатая до чешуйчатой, иногда комковидная; встречаются золотины в рубашке из гидрокислов железа +2 – 0,8 %; -2 + 1 – 5,2 %; -1 + 0,5 – 40,9 %; -0,5 + 0,25 – 45 %	Магнетит – 75 %; ильменит < 19 %; циркон < 16 %; киноварь < 9 % Знаки: пселит, рутил, монацит, вискмутит, ортит, анатаз, гранат, сфен, пирит, гематит
Золотая Елань, р. Кара	Террасовая (ширина – 1100 м, длина – 600 м (юго-западное направление); длина – 1000 м (северо-восточное направление); поражение от ведения горных работ (открытым и подземным способами); наличие участков скопанные многолетней мерзлотой	23,2 м; почвенно-растительный слой (0-0,3 м); глина с редким галечником и песком (3,0-14 м); песок желтый (1,5-4,5 м); галечник белесый с песчано-глинистым наполнителем (3,0-27 м); галечник серый золотосный (2-5 м); дресва песчанников, алевритов со щебнем, песчано-глинистый наполнитель (1-1,5 м)	Средняя мощность золотосного пласта – 3,7 м; в составе галечников содержится 34 % гальки, валунов диаметром 200-500 мм – 11 %, остальное – наполнитель (суглинок, супесь, прослой тяжелых глин)	Легкая средняя	Золотины хорошо окатаны, частично пластинчатые, чешуйчатые, на золотинах встречаются пленки гидрокислов железа и марганца -1+0,7 – 10-15 %; -0,7+0,25 – 50-80 %	Магнетит, ильменит, гематит, монацит, рутил, барит

Наименование россыли, поверхностный водоток	Тип месторождения (россыли)	Значение мощности и разрезных отложений	Характеристика продуктивной фракции пласта	Промысловость песков	Крупность, пробыность, форма золота	Средний выход черного шлама, кг/м <sup>3</sup> . Преобладающие в нем минеральные комплексы (попутчики)
Большой р. Киркнрот	Долинная (в верховьях длина – 30 км, ширина – 100 км), до 500 м (при устье). Средний продольный уклон – 0.012; профиль ассиметричный, с крутым правым и пологим левым	3,5-4,2 м; средний коэффициент вскрыши – 1,2; торфа сложены галечником с песчано-глинистым цементом, содержание валунов диаметром 200 мм равно 40 %	Грансостав песков: валуны – 27 %; крупная Галка (50-200 мм) – 30 %; мелкая галка (10-50 мм) – 17 %; гравий – 8 %; песок – 8 %; фракция < 1 мм – 10 %	Средняя	Крупное; -1+0,5 – 20,0 %; -5,0+3,0 – 32,1 %; -3+1,0 – 37,8 %	Ильменит, магнетит, гранат, элидот
Бельчир р. Каганца	Долинная, корытообразная, длина – 10 км, ширина – 70 м; продольный уклон – 0,0246	В торфах много глины. Плотик россыли ребристый (щетка)	Пласт сложен трудно-промывистыми галечниками со щебнем	Трудная	Крупное. Золото хорошо окатанное с пленками гидроокислов железа и марганца -3+1 – 32,8 %; -5+3 – 7 %; +5 – 36 %	Ильменит, циркон, касситерит

Наименование россыпи, поверхностный водоток	Тип месторождения (россыпи)	Значение мощности и разрез рыхлых отложений	Характеристика продуктивной фракции пласта	Промысленность песков	Крупность, пробыность, форма золота	Средний выход черного шиха, кг/м <sup>3</sup> . Преобладающие в нем минеральные комплексы (попутчики)
Джарнага-тайская (золото-платиноидная), р. Иля	Долинная, корытообразная, средний продольный уклон - 0,015; россыпь двухэтажная, ранее отработываемая; верхний пласт залегает на глубине 4-6 м. нижний - не глубже 48-50 м; наличие островной многолетней мерзлоты; длина верхней россыпи - 8,4 км, нижней россыпи - 7,9 км. Нижний пласт оценен только по категор. Ср.	Мощность торфов верхнего пласта - 3,6 м, нижнего - 44 м	Средняя мощность верхнего пласта - 1,5 м, средняя мощность нижнего пласта - 1,4 м, большая часть в металлоносных песках приурочена к илесто-глинистым отложениям	Трудная	Средней и мелкой крупности: золото верхнего пласта - пластинчатое, комковатое, полуокатанное и хорошо окатанное -0,5 + 0,3 - 38,8 %; -0,3 + 0,1 - 30,2 %	Минералы верхнего пласта россыпи: платина, висмут, невьяскит, сыссерскит, бисмутит, висмутит

Наименование россыпи, поверхностный водоток	Тип месторождения (россыпи)	Значение мощности и разрез рыхлых отложений	Характеристика продуктивной фракции пласта	Промышленность песков	Крупность, пробыность, форма золота	Средний выход черного шпиха, кг/м <sup>3</sup> . Преобладающие в нем минеральные комплексы (попутчики)
Газимуро-Могочинская (золото-оловянная с шеелитом) в районе впадения р. Могоча, Унай, Токова, Кулинда в р. Газимур	Русловая	Мощность аллювия: поймы – 0,5-2 м; первой террасы – 2,5-4 м; второй террасы до 14 м, песчаная глина – 0,2-5,0 м; песок с галькой и валунами 2,0-3,0 м; элювий, щебень, древесина коренных пород – 0,2-0,4 м	В плотике широко распространены зоны измененных окварцованных сульфидизированных пород (по-видимому, высвобождение минералов осуществлялось из коренного лома поверхностного водотока)	Средняя		Шеелит, касситерит, сульфиды (пирит, сфалерит, антимонит), магнетит, гематит, гранат, анатаз, рутил, турмалин
Усть-Сергивская (золото-шеелитовая) р. Асакан	Долинная, многоструйчатая; широкий (реликтовый) облик и малый уклон; ширина в средней к нижней части россыпи 150-1000 м, длина струй 10...80 м	Мощность – 7 м. Средняя мощность торфов – 2,4 м	Средняя мощность пласта – 0,65 м, пласт сложен супесью с суглинками с гравием и щебнем; валунистость – 10 %	Средняя	Мелкое пластинчатое	Шеелит несогированный, размер – от долей мм до 120 мм, разной степени окатанности

Наименование россыпи, поверхностный водоток	Тип месторождения (россыпи)	Значение мощности и разрез рыхлых отложений	Характеристика продуктивной фракции пласта	Промысловость песков	Крупность, пробытность, форма золота	Средний выход черного шиха, кг/м <sup>3</sup> . Преобладающие в нем минеральные комплексы (попутчики)
Железная Кржж	Труднообогащаемое коренное месторождение сложено скарнами, на которые наложено сульфидное оруденение с золотом	Золотоносные коры выветривания, зоны окисления; глубина изменяется 5...16 м. Сверху вниз сменяется охристо-глинистый слой, глинисто-щебенчатый слой	Золотоносные образования представляют собой рыхлый охристый, иногда кавернозный агрегат, преобладают гидроокислы железа, ярозит. реже мельниковит, в заметных количествах содержатся оксиды свинца, цинка, марганца, мышьяка, висмута	Легкая, средняя	Тонкое пылевидное, размер золотины менее 0,07 мм, крупнее 0,07 (до 1 мм) — 29 %, золотины комковидные, уплотненные, аморфные, встречаются сростки золота с кварцем, биктитом, халькопиритом, золотины совершенно неокатаны, иногда на поверхности отмечены налеты гидроокислов железа	Самородное золото; сульфиды мышьяка, меди, цинка, железа, висмута; флюорит, циркон, шешелит, ильменит, топаз

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Т а б л и ц а П . 2 . 1

## Минералы золота

Минералы	Формула; состав, %	Примеси	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по шкале Мооса	Другие свойства <sup>1)</sup>
<b>Самородное золото и его разновидности</b>					
Самородное золото	Au	Ag, Cu, Pb, Bi, Pt, Hg, Fe, Te, Se	15,6-18,3	2,5-3,0; ковкое	За счет примеси Fe бывает магнитным; хороший проводник электричества; растворяется в царской водке, H <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub> , хлорной воде
Электрум	Au, Ag, Au - 48-63 Ag - 25-50	Cu, Pd, Rh	12,5-15,6	1,0-3,0; весьма ковкий	Температура плавления: 1061 °C при содержании Ag 35,4 %, 1046 °C при содержании Ag 39,9 %
Кюстелит (золотистое серебро)	Au <sub>2,5</sub> Ag, Au - 48-63 Ag - 25-50	Pb, Bi, Rh	11,3-13,1	2,0-2,5; ковкий	Наилучший проводник электричества; растворяется в HNO <sub>3</sub>
Купроаурид, аурикуприд	AuCu <sub>2</sub> , Au - 61-71 Cu - 26-31	Pd, Pt, Ag	—	2-3; ковкий	
Бисмутаурид (висмутистое золото)	При содержании Bi до 4 % - твердый раствор; при более высоких содержаниях - смесь твердого раствора с самородным Bi	—	—	—	По свойствам почти не отличается от самородного золота

Минералы	Формула; состав, %	Примеси	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по шкале Мооса	Другие свойства <sup>*)</sup>
Родит	Au Rh Au - 66-57 Rh - 34-43	—	15,5-16,8	хрупкий	
Порпепит (палладитское золото)	Au <sub>5</sub> Pd Au - 84-91 Pd - 5,5-12 Ag до 4 %	Ag, Cu, Bi	15,7	3,0; ковкий	
Иридиевое золото	Содержит до 30 % Ir, возможно является смесью Au с Ir	—	21,7	—	
Платинистое золото	Содержит до 10 % Pt, возможно является смесью Au с Pt	—	19,5	—	
<b>Интерметаллические соединения</b>					
Амальгама золота	Au <sub>2</sub> Hg <sub>3</sub> Au - до 40 Hg - до 60	Ag	15,5	Мягкие частицы и шарики, жидкая масса, кристаллы	
Мальдонит	Au <sub>2</sub> Bi; преимуще- ственно представлен смесью Au с Bi Au - 65 Bi - 35	—	15,5	1,5-2,0	Растворяется толь- ко в царской водке. Очень редкий
<b>Теллуриды и антимониды золота</b>					
Калаверит	AuTe <sub>2</sub> Au - 43,6 Te - 56,4	Ag, Cu, Sb, Pb	9,1-9,4	2,5-3,0; хрупкий	Разлагается HNO <sub>3</sub> с образованием осадка Au. Темпера- тура плавления 464 °С

Минералы	Формула; состав, %	Примеси	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по шкале Мооса	Другие свойства <sup>*)</sup>
Креннерит	(Au, Ag)Te <sub>2</sub> Au - 33,0 Te - 59,7 Ag - 7,3	—	8,6	2,6; хрупкий	
Сильванит	(Au, Ag)Te <sub>4</sub> Au - 24,2 Ag - 13,2 Te - 62,6	—	8,1-8,2	1,5-2,0; хрупкий	Разлагается HNO <sub>3</sub> с образованием осадка Au
Петцит	Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub> Au - 41,7 Ag - 25,4 Te - 32,9	Hg, Cu, Mo	8,7-9,4	2,5-3,0; слегка ковкий до хрупкого	Разлагается HNO <sub>3</sub> с образованием осадка Au
Наггагит	Pb <sub>5</sub> Au(Te, Sb) <sub>4</sub> S <sub>5-8</sub> Au - 7,5 S - 10,8 Pb - 56,8 Te - 17,7 Sb - 7,2	Ag, Se	7,3-7,7	1,0-1,5; пластин- чатые вы- деления, гибкие	Растворяется в цар- ской водке; разла- гается HNO <sub>3</sub> с об- разованием осадка Au
Ауростибит (антимонид)	AuSb <sub>2</sub> Au - 45 Sb - 55	—	9,9	3,0-4,0; хрупкий	Редкий

\*) Характерным свойством большинства минералов золота является их способность вступать в химическое взаимодействие с цианидами щелочных металлов (калия, натрия, кальция) с образованием водорастворимого комплекса  $MeAu(CN)_2$



## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П.3.1

## Техническая характеристика шлюзового комплекса

Параметры	Ед.изм.	ШПУ
Количество подшлюзков:		
в одном верхнем ярусе	—	18
в одном нижнем ярусе	—	16
Размеры подшлюзка:		
рабочая длина	м	5
ширина	м	0,86
высота бортов	м	0,15
площадь шлюзовой колоды	м <sup>2</sup>	4,3
общая площадь	м <sup>2</sup>	146,2
Угол наклона шлюзов	град.	7±0,1
Общая улавливающая площадь шлюзов:		
левой стороны	м <sup>2</sup>	82,1
правой стороны	м <sup>2</sup>	82,1
Скорость движения поворотных лотков	об/мин	10-15
Продолжительность сполоска	ч	0,3-0,5
Мощность электродвигателя	кВт	6
Габаритные размеры:		
длина	м	12
ширина	м	17
высота	м	5,5

Таблица П.3.2

## Параметры работы шлюзов (по Б. В. Невскому) [78]

Параметр	Крупность песков, мм						
	6	6-12	12-25	25-50	50-100	100-200	>200
Минимальное Ж:Т (по объему)	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-20	>20
Минимальная средняя скорость потока, м/с	1-1,2	1,2-1,6	1,4-1,8	1,6-2	1,8-2,2	2-2,5	2,5-3
Коэффициент глуби- ны потока	2,5-3	2,2	1,7-2	1,5-1,7	1,3-1,5	1,2-1,3	1-1,2

Технические характеристики концентрационных столов [78]

Параметр	Тип стола				
	СКМ-1	ЯСК-2	СКО-15	СК-22	СКП-20
Производительность, т/ч	0,3-3	1-6	0,3-1 <sup>1</sup> 1-3,5	0,3-1 <sup>1</sup> 3-9	2,5-7
Число дек	1	2-3	2	3	1-2
Частота ходов деки, мин <sup>-1</sup>	230-300	230-300	280-350	230-350	280-450
Длина хода дек, мм	8-30	12-20	10; 12	14; 16; 18; 20	8; 12; 16
Размер деки, мм	4500	2120 <sup>*2</sup>	3970	3970	1800
длина:	—	2160 <sup>*3</sup>	—	—	—
ширина:	—	4200 <sup>*4</sup>	—	—	—
у загрузочного конца	1800	800	1973	1876	900
у разгрузочного конца	1500	800	1937	1876	900
Угол, градус:					
поперечного крена	0-8	0-8	0-8	0-8	0-8
продольного наклона	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2
Мощность электродвигателя, кВт	1,7	1,7	2,2	2,2	2,8
Масса стола, т	1,2	1,8	1,9	3,3	4,1

\*<sup>1</sup> В числителе — производительность шламовых столов, в знаменателе — песковых.

\*<sup>2</sup> Длина верхней деки.

\*<sup>3</sup> Длина средней деки.

\*<sup>4</sup> Длина нижней деки.

\*<sup>5</sup> Общая площадь шести дек.

Таблица П.3.4

Техническая характеристика СКО-3,5

Наименование показателей	Величина
Число дек	1
Площадь деки, м <sup>2</sup>	3,5
Крупность питания, мм	-1,0
Производительность, в т/ч в пределах шламов	0,5-1,0
Установленная мощность, кВт	2,2
Габаритные размеры, мм:	
— длина	4500
— ширина	2000
— высота	1100
Масса, кг	1400

Технико-экономические показатели эксплуатации СПК

Показатели	Величина
Производительность по твердому, кг/ч	до 10
Крупность обогащаемого материала, мм	до 4
Извлечение золота в готовый продукт, %	99,0-99,8
Габариты: длина, м	0,45
ширина, м	0,4
высота, м	0,4
масса, кг	25

Таблица П.3.8

Техническая характеристика отсадочной машины "Труд-12"

Показатели	Величина
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	100
Площадь решёт, м <sup>2</sup>	12
Крупность питания, мм, не более	20
Количество камер, шт	2
Частота хода решёт, мин	120; 150
Длина хода решёт, мм	15; 10
Установленная мощность, кВт	15
Габариты, мм	
— длина	3370
— ширина	3350
— высота	3550
Масса, кг	13300

Таблица П.3.9

Технологические показатели работы отсадочной машины "Труд-12"

Наименование показателей	Величина	
Производительность, м <sup>3</sup> /ч:	средняя	109
	макс. достигнутая	136
Выход продуктов обогащения, %:	концентрат	6,5-11
	хвосты	89, -93,5
Извлечение золота в концентрат при средней крупности золота в обогащаемых песках 0,25 мм, % в том числе золота крупностью:	0,5 мм	99,9
	0,5-0,25 мм	94,2
	-0,25 мм	90,6

Техническая характеристика винтовых аппаратов

Параметр	Аппараты с регулируемым шагом витка				Аппараты с постоянным шагом витка				
	Геологические		Промышленные		Сепараторы			Щлюзы	
	ВСП	ВСП	ВСМ-750	ВСМ-1200	СВ2-500	СВ2-750	СВ2-1000	ШВ2-100	ШВ3-1250
Производительность, т/ч	0,2	0,5-1	2-4	6-8	0,3-1,2	0,5-5	2-10	0,2-2	0,5-4,5
Диаметр желоба, мм	250	500	750	1200	500	750	1000	1000	1250
Шаг витка, мм	94-137	180-228	450-550	600-850	350	500	600	550	650
Число желобов	1	1	1	1	2	2	2	2	3
Число витков в желобе	3	5	4	2	4-5	4	4	4	2
Форма сечения желоба	Горизонтально расположенный эллипс с соотношением осей 1:2		Окружность с радиусом 226 мм		Эллипс с соотношением осей 1:2			Прямая, наклоненная к горизонтальной плоскости под углом 5°	
Расход смывной воды, л/с	Н.д.	Н.д.	0,5	1	0,1	0,1-0,15	0,1-0,2	0,1-0,2	0,15-0,3
Габаритные размеры аппарата, мм									
длина	—	—	900	1500	600	900	1100	1100	1300
ширина	—	—	800	1500	600	900	1100	1100	1300
высота	790-900	1550-1800	40000	4200	2700	3750	4000	3100	3860
Масса аппарата, кг	8,3	38	475	740	2900	300	600	600	800

Технические характеристики диафрагмовых отсадочных машин

Параметры	ОВМ-1	МОД-4	МОД-1	МОД-2	МОД-3	МОД-6
Производительность, т/ч	До 4,0	До 17	6	10 (25)	14 (30)	30...39
Площадь решет, м <sup>2</sup>	0,18	4	1	2	3	9,4
Число камер	2	4	1	2	3	6
Амплитуда колебаний, мм	До 16	До 50	До 40	До 40	До 40	3...16
Число пульсаций в 1 мин	400; 565; 610; 850	130; 350	130; 165; 206; 258; 310; 350	130; 196; 236	168; 294; 348	260; 290; 320
Крупность руды, мм	До 3,0	До 30	0,5...15	0,5...15	0,5...15	0,1...0,5
Размер камеры, мм	300×300	1000×1000	1000×1000	1000×1000	1000×1000	1250×1250
Мощность электродвигателя, кВт	0,6	2×2,2	1,1	2,2	2×2,2	3×2,8
Габаритные размеры, мм:						
длина	1220	3196	1850	2450	3750	4850
ширина	646	2432	1000	1260	1260	3260
высота	1000	1650	1805	2000	2000	2570
Масса, кг	240	2600	891	1460	2445	10 000

## Техническая характеристика ЦБК

Показатели	Величина
Производительность, м <sup>3</sup> /ч по пудле по твердому	до 400 до 100
Максимальная крупность обогащаемого материала, мм	4,0
Оптимальная крупность обогащаемого материала, мм	550×800
Давление в питающем лагубке, мПа (статическое или динамическое)	300
Габариты аппарата, мм	мельче 0,5-0,25
Масса, кг	0,02-0,03

Т а б л и ц а П . 3 . 1 1

## Техническая характеристика СЦМ

Показатели	Величина
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	до 1,0
Максимальная крупность обогащаемого материала, мм	4,0
Диаметр чаш, мм	350
Частота вращения чаш, мин <sup>-1</sup> (регулируемая)	0-800
Масса, кг	150

Т а б л и ц а П . 3 . 1 2

## Техническая характеристика концентратора «Бегущая волна»

Показатели	Величина
Габаритные размеры, мм	900×560×1280
Масса, кг	100
Мощность привода, кВт	0,18
Диаметр разделяющего устройства, мм	300
Производительность, кг/ч	до 300
Степень концентрации	до 10000 и более
Крупность питания, мм	до 5 (предпочтительно до 3)
Способ разгрузки концентрата	периодический
Плотность питания, % твердого	до 50
Минимальная крупность извлекаемого золота, мкм	20
Выход концентрата, г	от 10 до 1000

Технические характеристики сепараторов

Параметры	Тип сепаратора		
	СЦ-0,6	СЦ-0,8	СЦ-1,0
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	4-6	7-12	15-20
Крупность обрабатываемого материала, мм	8	8	10
Извлечение металла по классам, %:			
+0,5 мм	99-100	99-100	99-100
-0,5+0,25 мм	96-100	96-100	96-100
-0,25+0,1 мм	80-90	80-90	80-90
-0,1+0,05 мм	70-80	70-80	70-80
Диаметр чаши, мм	600	800	1000
Установленная мощность, кВт	1,1	2,2	2,2
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	20-45	50-100	100-200
Время непрерывной работы, ч	2	2	2
Выход концентрата, л	0,2-0,8	0,2-1,0	0,2-1,2
Размеры, мм	1400×980× 790	1650×1400 ×1150	1780×1400 ×1610
Масса, кг	305	520	610

Таблица П.3.14

Технические характеристики сепараторов

Параметры	Тип сепаратора	
	СВЦ-1	ВЦДС-М
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	0,05-0,09	0,028
Крупность обрабатываемого материала, мм	3	10
Извлечение металла по классам, %:		
+0,5 мм	99-100	99-100
-0,5+0,25 мм	98	98
-0,25+0,1 мм	85	85
-0,1+0,05 мм	70-80	77
Установленная мощность, кВт	0,18	0,15
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	3,6	0,24
Выход концентрата, л		
с лотка	0,4	0,007
с сепаратора	0,06-0,20	0,003-0,005
Размеры, мм	920×525×875	1300×525×820
Масса, кг	70	85

## Техническая характеристика

Показатели	Величина	
	Тип сепаратора	
	ЦСС-0,5	ЦСС-5
Производительность по твердому, т/ч	До 0,5	До 5
Крупность питания, мм, не более	2	2
Диаметр конуса, мм	200	360
Частота вращения конуса, мин <sup>-1</sup> (регулируемая)	0-1000	0-1000
Мощность электродвигателя, кВт	0,8	1,5
Плотность пульпы в питании (Ж:Т)	4-6:1	4-6:1
Габаритные размеры, мм:		
длина	730	970
ширина	500	830
высота	900	1100

Таблица П.3.16

## Техническая характеристика гравитационного концентратора КИЦМ

Параметры	Величина
Диаметр конической рабочей поверхности (в основании конуса), мм	500
Вибрационное ускорение, м/с <sup>2</sup>	0-15
Крупность исходного материала, мм	до 5
Производительность, кг/ч	до 300-500
Мощность электродвигателя, кВт	1
Масса, кг	120

Таблица П.3.17

## Техническая характеристика центробежного аппарата КИЦМ

Параметры	Величина
Крупность исходного материала, мм	30
Диаметр ротора, мм	1100
Центробежное ускорение, м/с <sup>2</sup>	300
Производительность, т/ч	25-35
Мощность электродвигателя	30
Масса, т	1,9



Технические характеристики гидроэлеваторных промывочных приборов

Показатели	ПГШ-30	ПГШ-50	ПГШ-75	ПГБ-1-1000
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	30	50-60	75	50
Расход воды, л/с	140	240-300	330	250-300
Тип гидроэлеваторной установки	УГО-140/250	УГЭ-170/350	УГЭ-190/400	УГЭ-11-350
Бункер:				
Размеры (В×L×Н), м	0,8×2,5×0,9	1,2×3,2×1,3	1,2×3,2×1,3	1,2×3,2×1,3
Размер перфорации решетки, мм	100	125	140	125
Масса, т	0,63	1,23	1,23	1,23
Гидроаппарат:				
Тип	ВГ-1-800	ВГ-11-1200	ВГ-11-1200	ВГ-11-1200
Размеры (В <sub>1</sub> ×В <sub>2</sub> ×L×Н), м	0,8×0,5×6,6×1,5	1,2×0,9×9,2×2,7	1,2×0,9×9,2×2,7	1,2×0,9×9,2×2,7
Размер перфорации, мм	70-40	120-40	120-40	120-40
Угол подъема, градус	15	15	15	15
Масса, т	0,83	2,62	2,62	2,62
Гидроэлеватор с пульповодом:				
Давление у насадки, кПа	600-620	520-640	560-720	560-640
Высота подъема пульпы, м	11-11,5	11,5-17	14,5-16,5	15,5-17
Диаметр, мм:				
Насадки	60; 65; 70	85; 90; 95; 100	95; 100; 105	85; 90
Горловины	140	170	190	170
Пульповода	250	350	400	350
Длина пульповода, м	20	23	23	23
Масса, т	1,7	2,9	3,2	2,9
Шлюз глубокого наполнения:				
Размеры (В×L×Н), м	0,72×26,8×0,5	1×26,8×0,5	1,25×26,8×0,5	1×6×0,5
Масса, т	4,6	6,4	6,8	2,6

Технические характеристики транспортно-обогатительных комплексов и средств технологического оборудования

Показатели	ПГШ-30	ПГШ-50	ПГШ-75	ПГБ-1-1000
Барабанный грохот:				
Размер (D×L), м	—	—	—	1,5×4
Размер перфораций, мм	—	—	—	20
Масса, т	—	—	—	1,8
Галечный стакер: Тип	—	—	—	СПЗ-11-650
Длина, м	—	—	—	44
Скорость ленты, м/с	—	—	—	1,5
Масса, т	—	—	—	6,6
Подшлюзки:				
Число секций	—	—	—	6
Размеры секций (B×L), м	—	—	—	0,72×5,7
Масса, т	—	—	—	6,1
Эфелеуборочный агрегат:				
Тип	—	—	—	АГЭП-1-200
Расход воды, л/с	—	—	—	53
Масса, т	—	—	—	1,7
Насосная станция:				
Тип насоса	8НДВ	<u>300Д90<sub>Δ</sub></u> 300Д90	<u>300Д90(12НД<sub>С</sub>)</u> <u>300Д90<sub>В</sub>(14НД<sub>С</sub>)</u>	<u>300Д90<sub>Δ</sub></u> 300Д90
Мощность двигателя, кВт	108×2	200/250	250/320	200*/250
Давление, кПа	350×2	620/680	629/760	500/600
Масса, т	5,7×2	6,7/7,4	7,4/8,4	6,7/7,4
Общая масса прибора с трубопроводами, т	26,6	25,8/26,5	27,5/28,5	48,6*/51

\* Без эфелеуборочного агрегата

Технические характеристики скрубберных промывочных приборов

Показатель	Тип промывочного прибора					
	МПД-2	МПД-3	МПД-4	МПД-5	МПД-6	МПИ-1
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	20	40	30	40	20	20
Расход воды, л/с	50	120	80	80-130	50	50-80
Вид загрузки в бункер	Скреперный погрузчик	Бульдозер-питатель	ББК-Ш-800	ББК-П	Завалочный лок	ББК-П-800
Конвейер: тип	Эстакадный	Эстакадный, металлический	ГСШМ	ГСШМ	—	ГСШМ
длина, м	21	85	70	82	—	50
Скрubber:						
тип	Б-1948	ДС-53	ДС-53	ДС-55	Б-1948	Б-1948
перфорация, мм	16; 30	10; 20; 50	20	15; 50	30	20; 30
Длина эфельного шлюза, м	13,5	13,7	12,4	12	12,4	12,4
Самородкоулавливающие шлюзы:						
число секций	—	1	1	1	—	1
длина секций, м	—	13,7	2,7	12	—	2,7
Галечный стакер:						
тип	—	—	СПЗ-IV-660	СОЗ-II-600	СПЗ-I-650	СОЗ-III-600
длина, м	8,8	16	44,7	36,3	27,7	36,6
Тип насоса	6НК	8НК	8НК	6НДВ; 8НДВ	6НК	6НК

**Технические характеристики скрубберных промывочных приборов ПКС**

Показатель	ПКС-1-700	ПКС-1-200
Производительность, м <sup>3</sup> /ч ; м <sup>3</sup> /сут	35; 700	60; 1200
Расход воды, л/с	90-120	120-140***
Бункер загрузочный: – тип	ББК-11М	ББК-11М
– масса, т	5,7	5,7
Конвейер подъемный: – тип	КПШ-11-800	КПШ-11-800
– ширина ленты, м	0,8	0,8
– длина, м	70	112
– скорость ленты, м/с	1	1
– масса, т	17,7	22,9
Скрубберный комплект:		
Размер глухого става L×D, м	2,4×1,6	33,×1,6
Размер перфорированного става L×D, м:		
– основного	1,66×1,9	2,2×2,1
– концевого	0,65×1,6	0,69×1,6
Размер перфорации грохота	20; 50* или 100×100*	20; 100×140**
Масса, т	10,8	14
Эфельные шлюзы:		
– число секций	2	4
– ширина секций, м	0,75	0,72
– рабочая длина секций, м	12	10,2
– масса, т	2,4	—
Самородкоулавливающие устройства:		
– тип	Шлюз или ОМТ-111А-600	ОМТПП-1-800
– размеры (В×L), мм	0,45×12,5	—
– масса, т	4,9*/7,8**	11,4
Стакер галечный:		
– тип	СПЗ-11-800	СПЗ-11-800
– ширина ленты, м	0,8	0,8
– скорость ленты, м/с	1,1	1,5
– длина, м	28	44
– масса, т	5,8	9
Насосная станция:		
– тип насоса	АН-1-8К-12 или АН- 11-8НД <sub>Б</sub> ***	АН-11-8НД <sub>Б</sub> ***
– мощность электродвигателя, кВт	105*/40***	105
Общая масса прибора (без подстанций), т	54,5*/58,8**	64,8/77,3**
Установочная мощность (без насоса), кВт	74*/94**	102/128**

\* С самородкоулавливающим шлюзом

\*\* С отседающей машиной ОМТ

\*\*\* Со вспомогательным насосом 6К-8, N-30 кВт

## Техническая характеристика гравитационного углового концентратора

1	Число модулей (секций)	4-8
2	Размеры, м - ширина - длина	0,3-1,5 1,2-24
3	Масса, кг	25-5000
4	Удельная производительность по твердой массе, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·час	до 5
5	Суточная производительность одного концентратора по твердой массе, м <sup>3</sup> /сут	до 2000
6	Достижимая степень концентрации по золоту	до 20000

## Техническая характеристика драг

Параметры	Емкость черпака					
	600	380	250	210	150	80
Максимальная глубина черпания ниже уровня воды при угле наклона черпаковой рамы 45°, м	50	30	12-15	10-11	8	6
Наибольшая высота надводного борта, м	10	7	4	2	2	1
Размеры драги:						
— длина	230	150	89-96	82	71	43,5
— ширина	50	39	26	26,4	16	16
— высота	40	36,8	25,6	25,5	19,5	15,1
Длина черпаковой рамы, м	92	58	31,6-35,6	30,0	23,7	17,0
Масса черпаковой рамы, т	500	155	74-81	—	39,7	16,9
Число барабанов для поддержания нижней ветви черпаковой цепи	2	1	—	—	—	—
Длина главного стакера, м	92	60	39,5-40,7	30,4	30	20,7
Масса главного стакера, т	170	87	32-37	—	26,2	9,5
Размеры понтона, м:						
— длина	108	62	42,8	40,4	36,0	24,0
— ширина	32,6	27	18,2	18,2	17	12
— высота	4,5	3,3	3	3	2,6	2,25
Масса понтона, т	2200	780	240	218,5	150,1	53,6
Основное обогатительное оборудование	Шлюзы с движущимся покрытием + отсадочные машины 10330 2511		Шлюзы + отсадочные машины или винтовые сепараторы 1373 1000		Подвижные металлические шлюзы 912 390	

Техническая характеристика многочерпаковых мобильных драг

Параметры	Российские		Китайские (системы «Цзиньхуа»)						
	50 Д	82250	ЈН30С	ЈН40С	ЈН40	ЈН50	ЈН60	ЈН80	ЈН100
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	50	75	18	24	36	45	50	72	90
Вместимость черпака, л	50	250	30	40	40	50	60	80	100
Количество черпаков, шт	58	24	43	50	80	74	94	80	78
Шаг черпака, мм	450	1260	360	400	460	500	510	580	630
Скорость прохождения черпаков, шт/мин	24	7	28	25	30	30	30	30	30
Глубина черпания максимальная, м	4	5 (7)	6	7	7,5	7,5	10	10	10
Длина понтона, м	17,4	20,03	14,3	16	15,6	19,6	21	22	24
Ширина понтона, м	8,4	9,65	5,0	6,0	6,0	7,8	7,8	9,0	10,0
Высота понтона, м	1,7	1,5	1,0	1,3	1,3	1,8	1,8	2,0	2,4
Диаметр бочки, м	1,3	1,9	0,9	1,0	1,0	1,4	1,4	1,5	1,6
Ширина ленты стакера, мм	400	800	—	—	—	—	—	—	—
Основное обогащительное оборудование	отсадка или шлюз	отсадка или шлюз	шлюз	шлюз	шлюз	шлюз	отсадка или шлюз	шлюз	шлюз
Установленная мощность, кВт	182	268	59,5	87	90	154	165	220	380
Конструктивная масса, т	140	162	22	44	54	119	124	178	320
Водоизмещение с полной нагрузкой, т	165	192	28	48	62	135	145	190	390

Технические средства обогащительных установок для подготовки проб и их характеристики

Показатели, параметры	Типы установок		
	ПОУ-4М	ПОУ-4-2М	ПОУ-6 не выпуск.
Производительность установки, м <sup>3</sup> /смену	1,25-4,3	4,5-8,8	3,2-8,0
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	2,5-4,0	8,0-9,0	4,5-9,9
Объем получаемого концентрата, л	0,3-0,5	1,0-1,7	1,0-1,7
Общая установочная мощность электродвигателей, кВт	2,22	6,34	6,84
Общая масса установки (без насоса), кг	190	970	1720
Габаритные размеры, мм	1490x	3100x	3380x
	520x	1300x	2300x
	1065	2000	2290
Барабанный дезинтегратор			
Крупность питания, мм			
– при труднопромывистых песках	0-50	0-60	0-60
– при легко- и среднепромывистых песках	0-100	0-120	0-120
Длина барабана, мм	900	1300	1500
Внутренний диаметра барабана, мм	300	400	500
Внешний диаметр барабана мм	450	550	650
Диаметр отверстий листов внутреннего барабана, мм	8	8	8
Размер отверстий сетки внешнего барабана, мм	2,5x30	2,5x25	3
Частота вращения барабана, мин <sup>-1</sup>	28	28	55
Центробежный сепаратор			
Количество сепараторов, шт	1	2	2
Диаметр чаши, мм	300	300	400
Частота вращения чаши, мин <sup>-1</sup>	350	350	260
Установочная мощность электродвигателя, кВт	0,12	0,12x2	0,12x2
Глубина нарифлений футировки, мм	5	5	5
Высота уступов нарифлений, мм	10	10	10
Масса сепаратора, кг	21	21	21



Минералы шлихового комплекса (по К.В. Соломину, С.И. Полькину, О.В. Замятину и др.)

Минерал	Химическая формула	Содержание основного вещества, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердость по Моосу	Удельная магнитная восприимчивость вещества, см <sup>3</sup> /г	Электропроводность, Ом <sup>-1</sup> ×см <sup>-1</sup>	Диэлектрическая проницаемость
Арсенопирит	FeAsS	Fe - 34,3 As - 46	5900-6300				
Анатаз	TiO <sub>2</sub>	Ti - 59,6	3800-3900				
Барит	BaSO <sub>4</sub>	Ba - 58,9	4200-4400				
Висмутин	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Bi - 81,3	6800				
Вольфрамит	(Mn, Fe)WO <sub>4</sub>	W - до 60%	6700-7500	5-5,5	66·10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-10</sup>	15,0
Галенит	PbS	Pb - 86,6	7400-7600				
Гранит	A <sub>3</sub> <sup>2+</sup> B <sub>2</sub> <sup>3+</sup> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>	—	3200-4300	6,5-7,5	60·10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-12</sup>	5,0
Гюбнерит	MnWO <sub>4</sub>	Mn - 18% W - 60	6700-7500	5-5,5	82·10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	—
Золото	Au	Au - 57 - 99	15600-18300	2,5-8	—	10 <sup>6</sup>	—
Ильменит	FeTiO <sub>3</sub>	Fe - 36,7	4600-4800	5-6	271·10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	—
Касситерит	SnO <sub>2</sub>	Sn - 78,8	6300-7200	6-7	—	10 <sup>-9</sup>	27,7
Киноварь	HgS	Hg - 86,2	8000-8200	2-2,5	—	—	—
Колумбит	(Fe, Mn)(Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Nb - 55	5200-8200	6	—	—	—
		Ta - 72,6					
Корунд	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al - 52,9	3900-4400	9	-0,2·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-10</sup>	16,8
Лимонит	2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 3H <sub>2</sub> O	Fe - 59,8	3600-4000	5-5,5	36·10 <sup>-6</sup>	—	—

Минерал	Химическая формула	Содержание основного вещества, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердость по Моосу	Удельная магнитная восприимчивость вещества, см <sup>3</sup> /г	Электропроводность, Ом <sup>-1</sup> ×см <sup>-1</sup>	Диэлектрическая проницаемость
Магнетит	FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Fe – 72,3	4800-5200	5,5-6	0,03-0,1	10 <sup>-6</sup>	—
Монацит	(Ce, La)PO <sub>4</sub>	TR – 45 – 54	4900-5500	5-5,5	14·10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-12</sup>	12,0
Молибденит	MoS <sub>2</sub>	Mo – 59,9	4700-4800	1-1,5	—	10 <sup>-6</sup>	—
Пирит	FeS <sub>2</sub>	Fe – 46,5	4900-5200	6-6,5	1·10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	—
Платина	Pt	Pt – 99,5	14600-19000	4-4,5	—	10 <sup>5</sup>	—
Рутил	TiO <sub>2</sub>	Ti – 59,9	4200-4400	6	2·10 <sup>-6</sup>	—	—
Сфалерит	ZnS	Zn – 67,1	3900-4100	7-7,5	—	—	—
Сфен	CaTi(SiO <sub>4</sub> )O	Ti – 24,6	3400-3600	5-5,5	—	—	—
Топаз	Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ](FOH) <sub>2</sub>	Al – 31,2	3400-3600	8	—	—	—
Турмалин	(Na,Ca)(Mg, Fe) <sub>3</sub>	—	2900-3200	7-7,5	12·10 <sup>-6</sup>	—	6,9
Флюорит	CaF <sub>2</sub>	Ca – 53,4	3200	4	—	—	—
Хромит	(Mg, Fe) Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Cr – 12,5- 44,8	4200-4800	6,5	—	—	—
Циркон	Zr(SiO <sub>4</sub> )	Zr – 49,5	4700	7,5	14·10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-12</sup>	17,6
Шеелит	CaWO <sub>4</sub>	W – 63,9	5800-6200	4,5-5	—	10 <sup>-12</sup>	12,0
Эпидот	—	—	3200-3500	6-7	—	—	—

<b>Предисловие</b> .....	<b>3</b>
<b>Введение</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Геолого-технологическая характеристика россыпных месторождений золота</b> .....	<b>7</b>
1.1. Образование и классификация россыпей .....	7
1.2. Гранулометрический и минералогический состав рыхлых отложений и шлиховых минералов .....	16
1.3. Характеристика россыпного золота .....	18
1.3.1. Физические и химические свойства золота и его основные минералы.....	18
1.3.2. Классификация золота по крупности .....	21
1.4. Промывистость песков .....	23
<i>Контрольные вопросы</i> .....	25
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	26
<b>2. Подготовительные процессы при обогащении золотосодержащих песков и технические средства для их реализации</b> .....	<b>28</b>
2.1. Дезинтеграция песков легко- и среднепромывистых россыпей.....	28
2.2. Дезинтеграция труднопромывистых песков .....	32
2.3. Дезинтеграция глинистых песков с использованием реагентов-диспергаторов .....	40
<i>Контрольные вопросы</i> .....	42
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	42
<b>3. Гравитационные методы обогащения золотосодержащих песков</b> .....	<b>43</b>
3.1. Теоретические основы гравитационного обогащения .....	43
3.1.1. Определение конечных скоростей свободного и стесненного падения зерен.....	45
3.1.2. Движение минеральных зерен в безнапорном наклонном потоке.....	49
3.1.3. Взвешивающая способность транспортирующих потоков и особенность распределения минеральных зерен по глубине .....	52
3.2. Качество промывочных (технологических) вод и их влияние на эффективность гравитационного обогащения .....	56
3.2.1. Фазово-дисперсная характеристика примесей технологической воды .....	56
3.2.2. Нормирование качества технологической воды при обогащении в гравитационных аппаратах .....	64
3.3. Оборудование для обогащения песков в струе воды, текущей по наклонной плоскости.....	69
3.3.1. Обогащение на шлозах.....	69

3.3.2. Обогащение на концентрационных столах .....	84
3.3.3. Обогащение на винтовых сепараторах .....	91
3.3.4. Обогащение в тонкослойных потоках на основе разделителей минеральных частиц .....	96
3.4. Обогащение на отсадочных машинах .....	99
3.4.1. Физические основы обогащения отсадкой и конструктивные особенности отсадочных машин .....	99
3.5. Центробежное обогащение золотосодержащих песков .....	110
<i>Контрольные вопросы</i> .....	116
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	117
<b>4. Комбинированные методы обогащения .....</b>	<b>118</b>
4.1. Отсадочно-центробежная концентраторы .....	118
4.2. Магнитогидродинамическая и магнитогидростатическая сепарации .....	121
4.3. Магнитно-флокуляционная сепарация .....	124
<i>Контрольные вопросы</i> .....	128
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	128
<b>5. Физико-химические методы обогащения .....</b>	<b>129</b>
5.1. Амальгамация .....	129
5.2. Флотация .....	129
5.3. Селективная флокуляция .....	130
5.4. Цианирование .....	132
<i>Контрольные вопросы</i> .....	133
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	133
<b>6. Технология обогащения золотосодержащих песков и техногенных образований .....</b>	<b>135</b>
6.1. Методология выбора и построения технологических схем .....	135
6.2. Характеристика промывочных комплексов и модульных установок .....	137
6.3. Технология обогащения легкообогатимого золотосодержащего сырья .....	143
6.4. Технология обогащения труднообогатимых золотосодержащих песков .....	151
6.5. Технология обогащения техногенного сырья .....	167
6.6. Технология попутного извлечения золота из песчано-гравийных материалов техногенных месторождений .....	174
6.7. Доводка концентратов .....	175
6.8. Физико-химическая геотехнология подземного выщелачивания золота .....	182
6.9. Геотехнологические методы подготовки и переработки труднообогатимых песков .....	187
6.9.1. Технологические (поточные) линии .....	191
<i>Контрольные вопросы</i> .....	203
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	204
<b>7. Природоохранные мероприятия по защите водотоков от загрязнения и рекультивации нарушенных земель .....</b>	<b>205</b>
7.1. Защита поверхностных водотоков от загрязнения .....	205
7.2. Рекультивация нарушенных земель .....	211
<i>Контрольные вопросы</i> .....	212
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	213

<b>8. Опробование и контроль технологического процесса .....</b>	<b>214</b>
8.1. Методы контроля процессов обогащения .....	214
8.2. Способы отбора проб .....	215
8.3. Методы определения содержания золота в исходных песках и продуктах обогащения.....	217
<i>Контрольные вопросы</i> .....	217
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	219
<b>Заключение.....</b>	<b>220</b>
<b>Глоссарий .....</b>	<b>223</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>225</b>
<b>Приложения 1 .....</b>	<b>238</b>
<b>Приложения 2 .....</b>	<b>245</b>
<b>Приложения 3 .....</b>	<b>248</b>
<b>Приложения 4 .....</b>	<b>256</b>
<b>Приложения 5 .....</b>	<b>264</b>

Виктор Петрович Мязин  
Ольга Викторовна Литвинцева  
Нина Ивановна Закиева

**Технология**  
**обогащения золотосодержащих песков**  
Учебное пособие

Лицензия ЛР № 020525 от 02.06.97 г.

Редактор Т.П. Кондаурова

Технический редактор Д.С. Гончаров

Сдано в производство 31.12.04 г.

Форм. бум. 60 x 84 1/16

Печать офсетная

Уч.-изд. л. 11,7

Тираж 500 экз.

Форм. бум. тип. № 2

Гарнитура литературная

Усл. печ. л. 10,9

Заказ № 42

---

Читинский государственный университет  
672039, Чита, ул. Александрово-Заводская, 30

---

РИК ЧитГУ