© Н.Ф. Усманова, В.И. Брагин, 2007

УДК 622.342.1

Н.Ф. Усманова, В.И. Брагин

*МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ГИПЕРГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С МЕЛКИМ И ТОНКИМ ЗОЛОТОМ**

Семинар № 24

Несмотря на то, что основную часть золота добывают из коренных руд, гипергенные месторождения – россыпи, золотоносные коры выветривания и техногенные объекты вносят значительный вклад в общую добычу золота в стране. Россыпи обеспечивали большую часть добычи золота в течение последних двух веков. Илонакопители, эфельные и дражные отвалы, образовавшиеся в результате разработки россыпей, являются на данный момент дополнительным резервом золотосодержащего сырья. По различным оценкам запасы металла в техногенных объектах составляют от 18 % до 50 % от запасов россыпного золота в России. Месторождения коры выветривания, по существующим геологическим прогнозам, будут обеспечивать основную часть прироста ми-нерально-сырьевой базы золота в XXI веке.

В настоящее время гипергенные месторождения в процессе разведки и постановки на баланс оцениваются исходя из требований существующей технологии добычи и переработки. Для россыпей и техногенных месторождений она включает, как правило, открытую разработку по транспортной схеме с последующим гравитационным обогащением. При этом оценке подлежит, фактически, только "гравитационное" золото, поскольку золотины крупностью менее 0,044 мм гравитационным обогащением не извлекаются вообще, а мелкое золото извлекается только частично. В то же время накопленные к настоящему времени сведения позволяют считать, что значительная часть металла в еще не освоенных россыпях представлена именно мелким и тонким золотом, а в техногенных месторождениях тонкое золото преобладает.

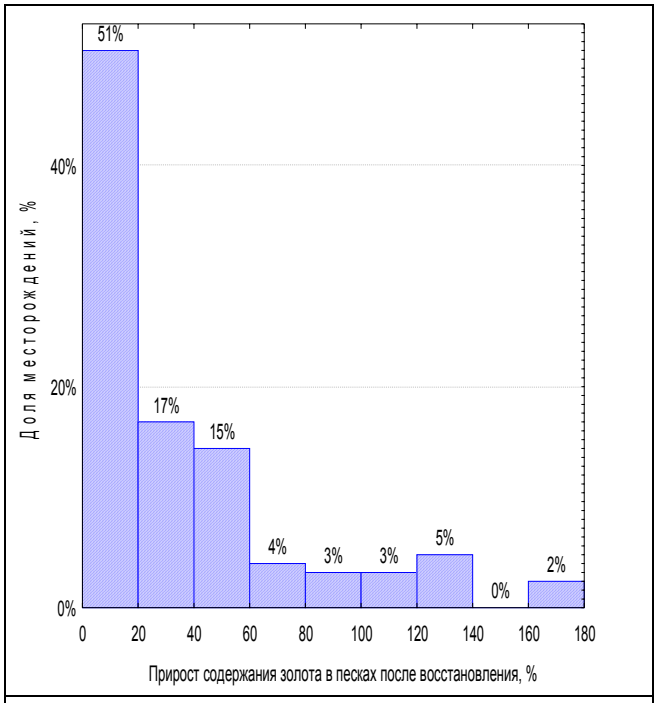
Освоение кор выветривания предполагает открытую разработку с последующим кучным выщелачиванием руды, либо с переработкой руды на фабрике по технологии смола (уголь) в пульпе. В целом вещественный состав руд коры выветривания характеризуется благоприятными технологическими свойствами – относительно высоким содержанием металла, низким содержанием сульфидов, малой глубиной залегания рудных тел, благоприятными физическими свойствами руды. Значительная часть золота в таких рудах раскрыта и доступна как для механических методов обогащения, так и для кучного выщелачивания. В то же время попытки освоения зачастую оказываются неудачными,

*Статья подготовлена на основании исследований, выполненных при финансовой поддержке РФФИ

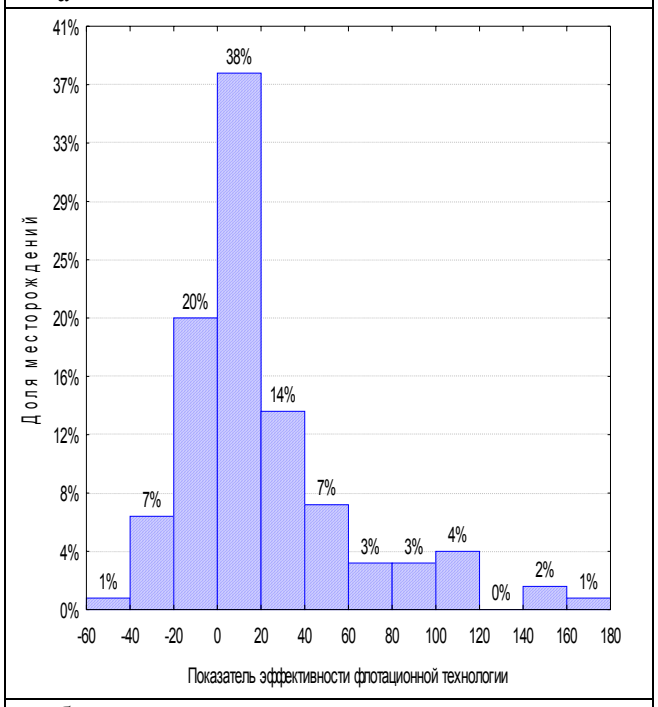
так как применяемая технология не обеспечивает нормативное извлечение золота, в связи с трудностью дезинтеграции глины, большим содержанием тонкого и пористого золота, наличием нераскрытого золота в крупной фракции. Проблема частично решается неоднократной повторной переработкой эфельных отвалов и илонакопителей. Часть запасов коры выветривания поставлена на баланс как россыпные месторождения, в том числе дражные, с оценкой на малую глубину. В таких случаях использование гравитационной технологии обогащения связано с особенно большими потерями золота. Кучное выщелачивание высокоглинистых руд, даже с предварительной агломерацией, также не всегда удовлетворительно. Радикальное решение проблемы – чановое цианирование на стационарной фабрике – в современных условиях проблематично из-за высокой капиталоемкости. На экономических показателях негативно сказывается также значительная доля стоимости собственно добычных работ в себестоимости металла, особенно высокая при малых и средних объемах добычи.

Практика последних лет показывает, что альтернативой кучному выщелачиванию при переработке песков с высоким содержанием мелких и тонких классов является флотация. Исследования, проводимые научно-исследовательскими организациями на различных месторождениях Сибири и Дальнего Востока по флотационному извлечению мелкого и тонкого золота из россыпей, шлихов и золотосодержащих илов дают высокие технологические показатели. Россыпное золото класса – 0,25+0 мм, при определенных реагентных режимах, успешно извлекается флотацией. Но широкого внедрения в производственный процесс флотационной технологии в настоящее время нет. Одна из основных причин заключается в том, что известные технические и технологические решения ориентированы на флотацию в условиях стационарных фабрик. Строительство фабрик для маломощных предприятий, эксплуатирующих гипергенные месторождения золота экономически нецелесообразно. Принципиальным решением проблемы является комбинированная технология переработки, предусматривающая перенос флотационного процесса из фабрики в условия рудника, органическое включение ее в геотехнологию. При этом гравитационное и флотационное извлечение золота различной крупности проводится на внутрикарьерных установках, либо непосредственно во внутрикарьерном пространстве.

Для оценки перспектив практического использования флотационной технологии для условий региона проведена оценка ее эффективности. Был разработан метод укрупненной оценки, позволяющий оценить как прирост выхода металла, так и ожидаемые технологические и экономические показатели на основании уже имеющейся для каждого месторождения информации. Истинное содержание золота восстанавливается с учетом сепарационной характеристики аппарата, который был использован при технологической оценке россыпи. Под сепарационной характеристикой здесь понимается зависимость извлечения свободного золота от его крупности. В качестве исходных данных были использованы сведения о гранулометрическом составе шлихового золота россыпей, представленные в геологоразведочных материалах в форме частных выходов золота



а



б

Рис. 1. Распределение россыпей золота Красноярского края по общему приросту золота при восстановлении истинного содержания тонкого золота (а) и эффективности флотационной технологии (б)

по классам крупности – 0,25+0 мм; -0,5+0,25 мм; -1+0,5 мм; +1 мм. В расчетах использованы данные по 137 месторождениям края, для которых имелись данные гранулометрического анализа шлиха.

В результате исследований было установлено, что расчетный прирост содержания золота в песках, обусловленный недоучетом тонкого золота при шлиховом опробовании, весьма значителен. Около 40 % россыпей края имеют содержание золота на 25 % и более высокое, чем было определено при их разведке. Для отдельных россыпей прирост содержания составляет 100 % и более. На рис. 1. представлено распределение россыпей золота Красноярского края по общему приросту содержания металла при восстановлении истинного содержания тонкого золота (а) и эффективности флотационной технологии (б). Показатель эффективности флотационной технологии здесь имеет смысл дополнительного чистого дохода, получаемого предприятием при внедрении флотации, в

процентах к валовому доходу предприятия при существующей технологии.

Проведенные ранее исследования по флотации золота из высокоглинистого материала показали, что в присутствии глины технологические показатели флотации золота определяются в основном содержанием первичных шламов в питании флотации и содержанием тонкого золота, и практически не зависят от состава и расхода реагентной смеси. Определяющим фактором технологии является содержание глины в питании, повышение которого ухудшает качество чернового концентрата и одновременно повышает устойчивость процесса флотации. Флотационные опыты на различных реагентных режимах показали, что при большом количестве глинистой фракции в исходном материале флотационный процесс идет более стабильно и достигается более высокое извлечение золота в концентрат. В то же время флотация зернистых песков проходит тяжелее, при незначительной высоте неустойчивой пены. Во всех опытах с расходом ксантогената выше 80 г/т извлечение металла превышало 70 %, вне зависимости от типа дополнительного собирателя, при условии создания устойчивой пены. Полученные результаты позволили сделать важный практический вывод: в основной флотации золота из глинистых пульп применение селективных реагентов нецелесообразно. Состав реагентной смеси, а также ее расход должны обеспечивать выход пены не менее 1,5 %, желательно 3-4 %. При большом содержании глины в питании степень концентрации по операции получается низкой, однако одной-двумя перечистками она поднимается до необходимой величины 200-300. Это дает возможность прогнозирования технологических показателей флотации россыпного золота без проведения полнообъемных испытаний.

Для предварительной экономической оценки эффективности применения флотационной технологии для вновь разрабатываемых объектов была разработана модель технологических показателей флотации в области технологически приемлемого извлечения золота 75-95 % от исходной руды. Модель позволяет оценить качество флотационного концентрата β и выход γ (д.е.) основной флотации при заданном извлечении ε_0 (д.е) без проведения флотационных опытов, основываясь только на информации о содержании глины (С, д.е.) и золота флотируемого класса крупности в питании (α). Удовлетворительная сходимость экспериментальных результатов и разработанной модели позволяет применять ее в расчетных проектах.

В результате проведенных практических и теоретических исследований было установлено, что при выборе варианта технологии переработки гипергенного сырья для конкретного месторождения существенное значение имеют следующие характеристики исходных песков:

- доля золота (-0,25 мм) %;
- содержание глины в песках, %.

Разграничение по классу –0,25 мм было сделано из следующих соображений. В разное время геологами понятия «мелкое» и «тонкое» золото трактовалось по-разному. Так в классификации Н.В.Петровской [1] класс –0,05–0,10 относился к «очень мелкому», класс –1,00–2,00 к «средней крупности». Позднее О.О. Минко [2] класс –0,05 –0,10 определял как «тонкое» золото, класс –0,25 – 1,00 мм – «мелкое». С.С. Воскресенский [3] подразделяет «тонкое» -0,05–0,10 мм, «весьма мелкое» -0,10–0,25 мм, «мелкое» -0,25–1,00 мм. Н.А. Шило [4] класс –0,2–0,05 мм относит к

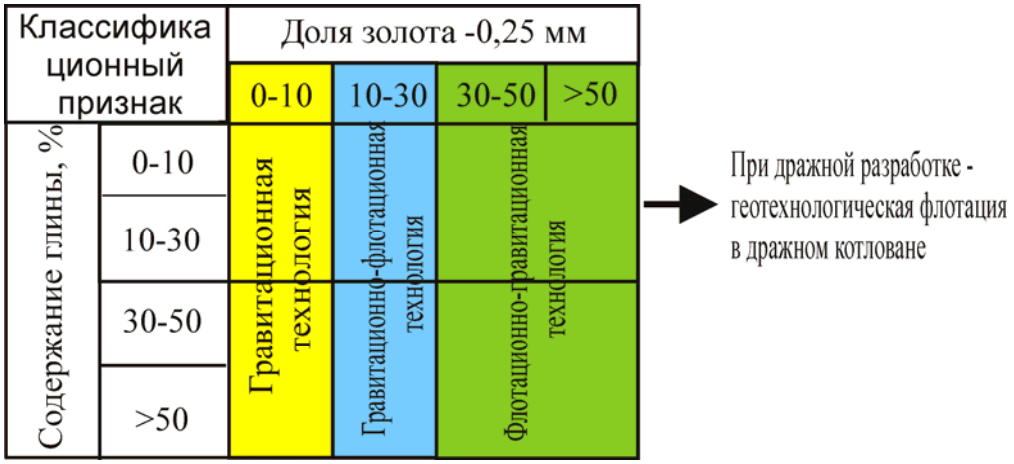


Рис. 2. Принципы компоновки технологических схем переработки песков

«тонкому», класс –0,25–1,00 мм - к «весьма мелкому», класс –1,00–2,00 мм – к «мелкому». Р.А. Амосов [5] классифицирует класс <0,1 мм как «тонкое», класс- 0,1–0,25 мм – «мелкое» золото. В последнее время, чаще всего, понятия «мелкое» и «тонкое» золото трактуется согласно классификации Р.А. Амосова. Основное количество россыпных месторождений, находящихся в настоящее время на балансе, запасы которых были подсчитаны до конца 80-х годов XX века. Месторождения, большая часть запасов которых формировалась за счет «весьма мелкого», «мелкого», «тонкого» золота располагались в разряд перспективных, отработка которых возможна при усовершенствовании технологии обогащения.

В техногенных отвалах формирующихся в результате добычи россыпного золота, в классах, трактовавшихся в разное время как «мелкое» и «тонкое» золото, сосредоточено десятки тонн металла, часть которого в настоящее время можно извлекать современными гравитационными аппаратами, а классы, которые в разных классификациях относятся к «тонкому», «очень мелкому», «весьма мелкому» можно обогащать флотацией.

Во втором классификационном признаке учитывается немаловажная характеристика, влияющая на трудность разработки гипергенных месторождений золота – количество глины в исходных песках. Наличие глины в перерабатываемом сырье ухудшает эффективность работы гравитационного оборудования, снижая тем самым технологические показатели обогащения. Применение именно флотационного процесса для извлечения золота из песков характеризующихся высоким содержанием глины, обосновывается «плывучестью» тонких классов металла в большом количестве присутствующих в данном материале и хорошей флотационной активностью глинистых шламов.

Таким образом для месторождений, характеризующихся различной долей тонкого и мелкого золота и содержанием глины, предложено ис-пользование ряда комбинированных гравитационно-флотационных схем,

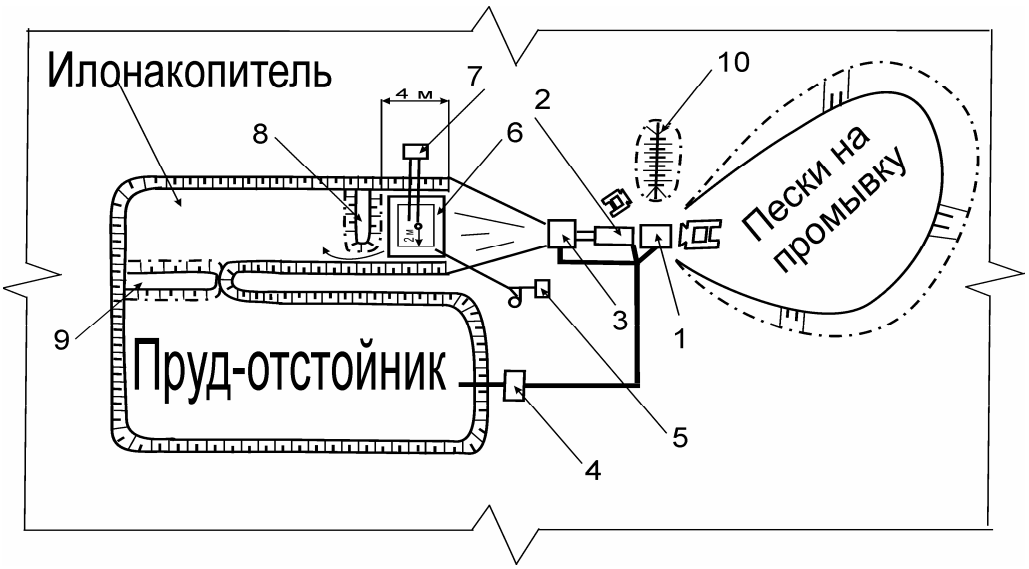


Рис. 3. Разработка россыпи с формированием геофлотационной камеры в илонакопителе: *1* - приемный бункер, *2* - грохот, *3* - отсадочная машина, *4* - насосная станция, *5* - приемник для флотоконцентрата, *6* - пенный желоб, *7* - реагентная площадка, *8* - направляющая дамба, *9* - подводная дамба, *10* - галечный отвал

обеспечивающих извлечение золота широкого диапазона крупности (рис. 2).

Машины и оборудование, применяемые для подготовки золотоносных песков к переработке при открытом способе добычи аналогичны как для гравитационной технологии, так и для комбинированных способов извлечения золота. В зависимости от доли золота мелких и тонких классов на месторождении, изменяется точка внедрения узла флотационного извлечения, как на модуле, так и непосредственно в выработанном пространстве карьера. При разработке месторождений дражным способом установка флотомашин на понтоне драги значительно увеличит грузоподъемность драги. В этой связи процесс флотации осуществляем непосредственно в дражном котловане.

На месторождениях, где на долю золота класса -0,25 мм приходится не более 10 % от общего количество металла применение флотационной технологии даже при высоком содержании глины неэффективно. Для месторождений, где доля золота мелких и тонких классов не меньше 10 % и количество глинистой фракции в перерабатываемых песках до 30 % целесообразно применение гравитационно-флотационной технологии. Разработку россыпей осуществляют с применением бульдозерных, экскаваторных схем или гидравлическим способом. Флотацию проводят либо на передвижных модульных установках, либо для сокращения металлоемкости и соответственно уменьшения капитальных затрат – непосредственно в выработанном пространстве, методом геотехнологической флотации. В этом случае основная часть золота извлекается по гравитационной схеме, а относительно тонкое и мелкое золото – флотационным способом. На рис. 3 представлена технологическая схема разработки россыпи с проведением флотации непосредственно в илонакопителе.

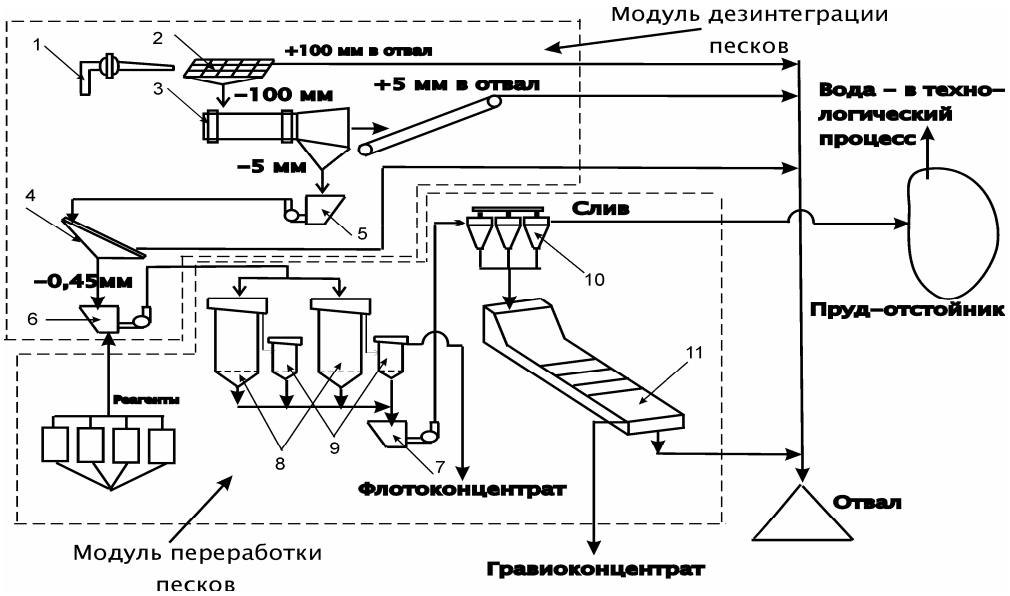


Рис. 4. Принципиальная схема переработки глинистых песков: *1* – гидромонитор; *2* – колосниковый грохот; *3* – скруббер-бутара; *4* – грохот; *5, 6, 7* – зумпф; *8* – колонные флотомашины основной флотации; *9* – колонные флотомашины перечистной флотации; *10* – гидроциклоны; *11* – шлюз

В этой схеме для формирования геофлотационной камеры в илона-копителе сооружаем направляющую дамбу. Воздух и реагенты подаем непосредственно в геофлотационную камеру. Для сбора пенного продукта в геофлотационной камере помещен пенный желоб, пенный продукт из которого насосом перекачивают в приемник флотоконцентрата для последующей доводки. Илонакопитель и пруд-отстойник, вода из которого направляется в дальнейшем в технологический процесс через насосную станцию, разделены подводной дамбой. Проведение флотационного процесса в головной части илонакопителя позволяет уловить большую часть металла мелких и тонких классов, теряемых с потоками пульпы при гравитационном обогащении.

В случае, когда доля золота мелких и тонких классов свыше 30 % и содержание глины в исходных песках от 10 % и выше целесообразнее в первую очередь внедрять процесс флотационного извлечения металла с последующим доизвлечением гравитационного золота из хвостовых продуктов флотации (рис. 4).

Даже увеличение капвложений на установку колонных флотомашин в предложенной схеме, позволяет повысить рентабельность разработки высокоглинистых труднообогатимых гипергенных месторождений золота за счет снижения потерь металла с мелкими и тонкими классами.

При дражной разработке россыпей предложен способ и флотационное устройство, позволяющее извлекать тонкое золото непосредственно в дражном котловане (рис. 5). В отличие от известных конструкций флотационных колонн флотация в предложенном устройстве происходит в свободном объеме, не ограниченном стенками камеры, а удаление хвостов происходит самопроизвольно, с одновременным складированием на дно дражного котлована. На флота-

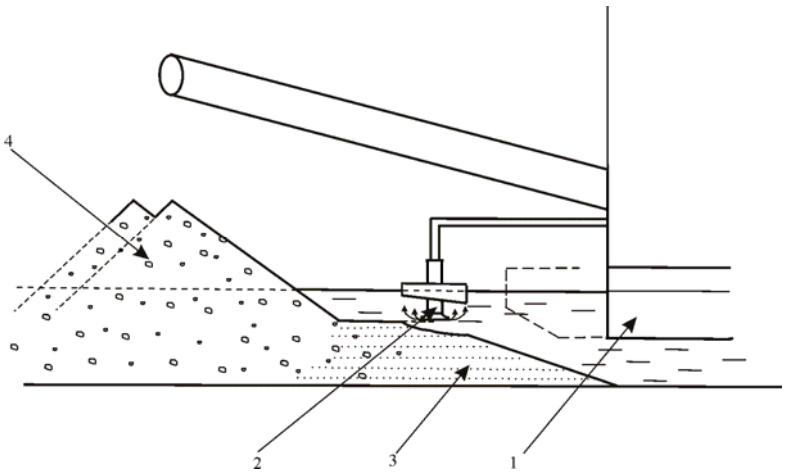


Рис. 5. Геотехнологическая флотация в дражном котловане: *1* - понтон драги, *2* - блок аэратора, *3* - эфельный отвал, *4* - галечный отвал

цию в дражном котловане направляется
материал крупностью 1 мм и ниже. Предложенная конструкция для извлечения мелкого и тонкого золота геофлотационным способом не увеличивает металлоемкость драги и не несет значительных дополнительных затрат на реконструкцию драги.

Экономический расчет предложенных вариантов компоновки технологических схем с осуществлением процесса флотации как на модульных установках, так и непосредственно в горных выработках показал, что внедрение флотационного процесса позволяет, не нарушая технологию разработки месторождения, получать дополнительный экономический эффект за счет извлечения мелкого и тонкого золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петровская Н.В.* Самородное золото. – М.: Наука, 1973.
2. *Минко О.О.* Проблема поисков и оценки россыпей с мелким золотом (геологические методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых): Обзор. – М.: ВИЭМС, 1985.
3. *Воскресенский С.С.* Геоморфология россыпей. – М.: Изд-во МГУ, 1985.
4. *Шило Н.А.* Учение о россыпях: теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с.
5. *Амосов Р.А., Парий А.С., Долбня О.В.* Горный журнал, 2002. - №2. ГИАБ

Коротко об авторах

Усманова Н.Ф., Брагин В.И. – ИХХТ СО РАН, Красноярск.