

# РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ



**Ю. Ф. Харитонов**, начальник подотдела, канд. геол.-минерал. наук, член-корр. МАМР  
ООО ГРК «Быстринское»

*Включение в традиционную схему отработки золоторудных месторождений процесса подготовки техногенных месторождений формирует принципиально новый подход к решению проблемы рационального использования недр. Данное стратегическое направление позволит существенно укрепить сырьевую базу действующих предприятий и активизировать инвестиции на вовлечение в оборот коренных месторождений золота.*

В процессе геологоразведочных работ выделяются четко ограниченные в пространстве блоки балансовых и забалансовых руд. Слабоминерализованные участки с содержанием золота ниже бортового и первичные ореолы рассеяния практически относятся к вмещающим породам, и содержание металла в них не учитывается. Тем не менее, именно в этих породах при более или менее контрастном обогащении содержание золота на отдельных участках превышает 1 г/т.

Среднее содержание золота в первичных ореолах рассеяния месторождений кварцево-жильного типа составляет 60–125 мг/т, колчеданно-полиметаллического типа – 20–40 мг/т. Собственно подсчет запасов (для разных типов руд) осуществляется при бортовых содержаниях от 0,3 до 2 г/т. Минерализованные породы с содержанием ниже бортового даже не попадают в категорию забалансовых, хотя распространение слабой минерализации (первичных ореолов) может в 3–8 раз превышать объемы экономически оконтуренных блоков. Следовательно, неучтенные запасы золота могут в несколько раз превышать объем запасов металла в балансовых и забалансовых рудах. Таким образом, задача вовлечения в хозяйственный оборот слабоминерализованных разностей является весьма актуальной, особенно для месторождений, разрабатываемых открытым способом.

В общепринятом понимании комплексное освоение недр предусматривает максимальное извлечение полезного ископаемого из недр, максимальное извлечение полезных компонентов из добытой руды и максимальное возможное использование отходов (вскрышных пород, хвостов обогащения). Все эти процессы охватывают учтенные запасы. Неучтенный металл во вмещающих породах практически не рассматривается.

Учитывая способность золота растворяться, мигрировать и осаживаться, проблему расширения сырьевой базы с точки зрения максимального извлечения металла следует рассматривать с двух позиций:

- вовлечение в оборот накопленных ранее золотосодержащих отходов горнорудных предприятий;
- формирование техногенных месторождений как объектов будущей разработки.

Вовлечение в оборот накопленных отходов горнорудных предприятий в настоящее время приобретает все больший масштаб. Только в Читинской области, по данным Кадастра техногенных скоплений горнорудных предприятий, из 88 учтенных объектов техногенного минерального сырья золото содержится в 32 [1], причем не только в отходах золотодобывающих предприятий, но и в отходах от разработки молибденовых и полиметалли-

ческих месторождений, а также в огарках сернокислотного производства.

Отходы предприятий золотодобывающей отрасли в Читинской области составляют почти 209 млн т, из них 151,9 млн т (72,7 %) – это породы вскрыши. Содержание золота в них принято считать равным нулю, хотя в условиях крайне неравномерного содержания и наличия первичных ореолов золото в них присутствует. Скорее всего, эти образования следует относить в разряд слабоминерализованных пород. Так, во вскрышных породах Ключевского месторождения среднее содержание золота составляет около 0,35 г/т, Балецкого – 0,34 г/т, Тасеевского – 0,33 г/т, а в совокупности в них сконцентрировано более 52 т золота. Общие объемы отвалов бедных и забалансовых руд учтены в количестве около 950 тыс. т (~0,5 %). Запасы золота в них составляют примерно 11 т при содержании металла от 0,85 до 3 г/т. Содержание золота в хвостах гравитационно-флотационного обогащения варьирует от 0,35 до 1,79 г/т. Всего учтено 54,3 млн т (26 %) хвостов, содержащих почти 40 т золота.

Особо следует отметить наличие отходов химико-металлургической переработки руд – огарков подового обжига и кеков цианирования (Дарасунское и Ключевское месторождения), содержание золота в которых колеблется от 0,6 до 7 г/т. Учтено

1,65 млн т (0,8 %) этих отходов, содержащих 1,9 т золота.

Всего в отходах отработки коренных месторождений, по отчетным данным, насчитывается 93 т золота, однако есть все основания полагать, что эта цифра занижена как минимум в 1,5 раза.

Золотосодержащие отходы молибденовых предприятий сконцентрированы в хвостохранилищах Давендинской и Шахтаминской обогатительных фабрик. Содержание золота по этим объектам составляет 0,2–0,5 г/т, молибдена – 0,03–0,04 %. Общее количество золота – приблизительно 2,7 т.

В отходах полиметаллических месторождений золото присутствует повсеместно в хвостах обогащения Акатуйского, Кадаинского, Кличкинского, Благодатского рудников, в многочисленных мелких дореволюционных рудно-породных отвалах и шлаках Екатеринбургских сереброплавильных заводов, действовавших в XVII–XIX веках. Среднее содержание золота в хвостах обогащения по отдельным хвостохранилищам колеблется от 0,05 до 0,33 г/т, а всего в них сконцентрировано 1,6 т золота.

Вызывают интерес отходы полиметаллических месторождений Нерчинско-Заводской группы, эксплуатировавшихся до 1917 г. Отходы представлены некондиционными на тот период рудами. По данным штучного опробования, максимальное содержание золота в них достигает 10 г/т, но преобладают содержания 1,5–2 г/т. Отходы образуют 6 серий мелких отвалов, расположенных в районах горы Крестовки, Рязановского хребта, Вознесенско-Воздвиженской, Мальцевско-Килгинской и Южной групп месторождений, гор Спасской, Благодатской и Петропавловской. В отвалах сосредоточено от 30 до 110 тыс. т пород. По ориентировочным подсчетам, содержание в них золота превышает 600 кг.

Сереброплавильные шлаки Екатеринбургских заводов сосредоточены на четырех участках в Нерчинско-Заводском и Калганском районах. Общие запасы золота составляют 65 кг. Содержание золота в шлаках колеблется от 0,1 до 0,25 г/т, серебра – от 30 до 80 г/т.

В качестве первоочередного объекта для освоения представляют интерес огарки сернокислотного производства Приаргунского ППГХО, объем которых, по данным предприятия, составляет около 17 млн т при содержании золота 3,25 г/т.

Всего в техногенных образованиях Читинской области, по данным паспортизации, содержится более 150 т золота. Рассмотрим возможные направления их использования в качестве сырья для получения золота. В этом отношении представляют интерес практически все образования, за исключением сереброплавильных шлаков и хвостов обогащения полиметаллических месторождений, перспективы которых на золото пока не ясны. Тем не менее, эти скопления могут представлять интерес как полиметалльные объекты, негативно воздействующие на окружающую среду.

Для хвостов обогащения, отвалов забалансовых и некондиционных руд, кеков и огарков наиболее приемлема технология кучного выщелачивания. Практический опыт извлечения золота из таких объектов с вышеуказанными содержаниями металла кучным выщелачиванием имеется не только за рубежом, но и в России, в частности на Урале [2]. Напротив, низкие содержания золота в слабоминерализованных породах вскрыши не позволяют эффективно извлекать металл даже методом кучного выщелачивания. Однако

в рассматриваемом случае вскрышные породы расположены вблизи месторождений с достаточно крупными запасами (Ключевское, Балеиское, Тасеевское) и поэтому при формировании техногенных месторождений могут использоваться в качестве выщелачиваемой массы.

Перед выщелачиванием породу измельчают дроблением до крупности –5 (–10) мм, а хвосты и огарки подвергают окомкованию до такой же крупности. Затем на специально подготовленное гидроизоляционное основание складывают материал и орошают его специальным раствором. После этого собирают продуктивный раствор и осаждают из него золото, из которого выплавляют лигатурные слитки.

При формировании техногенного месторождения внутри отвала создают условия для миграции полезных компонентов из более бедных по содержанию полезного компонента пород в более богатые с доведением последних до кондиционного состояния. Это достигается за счет образования техногенных геохимических барьеров (физико-химических, механических, биохимических), растворения, миграции и осаждения золота.

В процессе взаимодействия золотосодержащих горных пород с растворителем происходит раскрытие сростков породообразующих и аксессуарных минералов и высвобождение из них микроскопического тон-



кодисперсного золота, которое легко переходит в раствор, перераспределяется и мигрирует.

Золото хорошо растворяется в отвальных водах, содержащих галоидные, азотнокислые или сернокислые соли щелочных металлов, органические кислоты, специальные бактерии. Наиболее интенсивно процесс растворения протекает в сернокислых средах в присутствии сильных окислителей: диоксида марганца, кислорода, оксида железа и меди [3]. В качестве растворяющих реагентов применяются водные растворы  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Сильными растворителями золота являются бром и йод, присутствующие в виде щелочных бромидов и йодидов. Под действием разбавленной серной кислоты они образуют соединения, растворяющее золото.

Содержащееся в колчеданных породах золото растворяется под действием сульфата окисного железа и выпадает в осадок при встрече с сульфидными породами. С пиритом золото образует легко растворимое соединение  $\text{NaAuS}_2$ , которое устойчиво в щелочных сульфидных растворах и разлагается оксидами железа с образованием самородного золота.

Золото хорошо растворяется под действием активного хлора, который образуется в результате взаимодействия отвальных кислых вод, содержащих хлориды, и диоксида марганца, представленного пиролюзитом, псиломеланом или вадом.

С приемлемой скоростью способны растворять золото гуминовые кислоты, а также некоторые аминокислоты в присутствии окислителей.

При окислении и растворении сульфидов (пирит, антимонит, арсенопирит) содержащееся в них тонкодисперсное золото может непосредственно переходить в коллоидный раствор. Кроме того, золото в сульфидах хорошо растворяется под воздействием бактерий (*T. ferroxidans*, *Bacillus megaterium*) и грибов (*Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Blasck Micillium*, *Aurebasidiu*). Для растворения золота из окисленных форм (золо-

тосодержащие латериты) применяют бактерии *Chromobacterium Violaceum* и *Aeromonos* [4, 5].

Формы переноса и осаждения золота в отвальном массиве определяются рядом факторов: составом вмещающих пород, растворяющих агентов, Eh и pH растворов и др. При окислении в условиях хранения горной массы в техногенном минеральном объекте возможно получение сульфатных, сульфидных, сульфидных, тиосульфатных, хлоридных и гидроксокомплексных форм золота, переходящих в раствор.

Золото может мигрировать: в форме галоидных и других неорганических комплексов; в форме соединений с органическим веществом; в виде коллоидных соединений и частиц; в виде суспензий, взвесей и коллоидов, защищенных гелями кремнезема; в виде органических веществ; в сорбированном состоянии на глинистых минералах и коллоидах гидроксидов железа, так как золото может находиться в растворах в коллоидной, взвешенной и истинно растворенной форме; в ионной форме в виде галогенидов или комплексных соединений.

Механическая и геохимическая подвижность золота определяется формой его нахождения: крупное самородное золото; тонкое (косовое); связанное в обломках и минералах.

Осаждению золота способствуют грибы *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Penicillium expansum*, водоросли *Chlorella vulgaris*, бактерии *Streptomyces*, *Methilobacterius* [3–5].

Локализованное техногенное концентрирование золота в результате переотложения его из растворов определяется наличием геохимических барьеров различных типов [кислородного, восстановительного (сероводородного), сульфатного, карбонатного, щелочного, кислого, углеродистого, сульфидного, испарительного, сорбционного] или их комбинацией. Важнейшим этапом внутриотвального обогащения является создание в массиве отвала техногенного геохимического барьера, предназначенного для осаждения и концентрации полезных компонентов. Тип барьера определяется

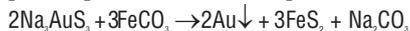
видом складываемых горных пород, характером миграции полезных компонентов и рядом других условий. Назначение барьера – разделение геохимической обстановки (до и после барьера). Возможны следующие сочетания геохимической обстановки: окислительная – восстановительная; нейтральная, кислая, слабощелочная – более щелочная; карбонатная (хлоридная) – сульфатная; глеевая – сероводородная; окислительная – глеевая. Например, золото может мигрировать в отвальных водах в виде  $[\text{Au}(\text{OH})_2]^-$ ,  $[\text{AuCl}_2\text{OH}]^-$ ,  $(\text{AuCl}_4)^-$ ,  $\text{H}_2\text{AuO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{AuS}_3$ , металлоорганических комплексов и в других видах, а также на основе гидроксидов железа, глинистых минералов или органических остатков.

Большая часть геохимических барьеров включает определенное чередование слоев, сформированных из разнокачественных пород с контрастными геохимическими свойствами. При этом взаимное расположение слоев и вид слоя, формируемого в основании отвала, устанавливаются в зависимости от вида складываемых горных пород, вида и характера миграции соединений полезных компонентов и вида формируемого геохимического объекта.

Базовая схема сложноструктурных отвалов для формирования техногенных золотосодержащих месторождений [3] предусматривает наличие фильтрационного слоя 1 в основании, верхнего слоя 2 из горных пород с низким содержанием полезных компонентов, обладающих способностью миграции в водном растворе, нижнего барьерного слоя 3 из пород, обеспечивающих смену геохимической обстановки и фактически образующих геохимический барьер 4 для данного конкретного вида мигрирующих полезных компонентов (рис. 1, а). Возможно также устройство еще одного слоя 6, сформированного из горных пород, относимых по содержанию полезных компонентов к некондиционному полезному ископаемому (рис. 1, б). Боковые поверхности отвала экранятся породами с антифильтрационными свойствами 5.

При реализации первого варианта схемы осуществляют планировку участка для размещения отвала и укладывают слой мощностью 0,5–1 м из горных пород с фильтрационными свойствами (слой 1). Затем формируют слой мощностью 1,5–2 м из горных пород (преимущественно из оксидов железа), выполняющих функцию геохимического барьера для мигрирующего в раствор золота (слой 2). Отсыпают следующий слой мощностью 8–10 м из слабоминерализованных горных пород (пород вскрыши) в смеси с пиритом (слой 3). Боковые поверхности отвала экранируют слоем пород с антифильтрационными свойствами, например глинистых, обработанных дополнительно поверхностно-активными веществами (слой 5).

Золото в породном слое 2 образует с пиритом легкорастворимые соединения  $\text{NaAuS}_2$  и  $\text{Na}_2\text{AuS}_2$  и в их составе мигрирует в водном растворе, проходит через геохимический барьер 4. Здесь происходит разложение образованных соединений оксидами железа, содержащимися в барьерном слое 3, с образованием самородного золота, пирита и освобождением выносимых растворами щелочей по реакции:



Избыток воды удаляется через фильтрационный слой 1. В результате этого полезный компонент (золото) концентрируется в ограниченном объеме барьерного слоя 3, где его содержание может достигать промышленных значений, что обуславливает целесообразность последующей раз-

дельной обработки отвала с вовлечением горных пород барьерного слоя в переработку.

При реализации другого варианта поверх фильтрационного слоя 1 располагают последовательно слой 6 некондиционных золотосодержащих (забалансовых) руд мощностью 6–8 м, барьерный слой 3 мощностью 1,5–2 м из горных пород, содержащих оксиды железа, и слой 2 мощностью 8–10 м из слабоминерализованных пород вскрыши в смеси с пиритом (см. рис. 1, б). В ходе химических реакций и миграции элементов в водном растворе полезный компонент концентрируется в горных породах барьерного слоя 3 и, вследствие определенной инерции мигрирующих полезных компонентов, в примыкающей к нему зоне нижележащего слоя 6. В результате содержание полезного компонента в рудах слоя 6 повышается, и некондиционные руды переходят в разряд кондиционных, готовых для последующей разработки. В данном случае целесообразна раздельная отработка сформированного отвала с направлением горных пород верхнего слоя 2 в отвал пустых пород, а пород барьерного и нижележащего слоя – на переработку.

Установлено, что вышеописанные схемы повышения извлечения золота пригодны для месторождений Забайкалья. Площадки для формирования техногенных месторождений целесообразно подготавливать на Балейском, Тасеевском и Ключевском месторождениях. В основание отвала следует заложить забалансовые и балансовые

руды, отнесенные в настоящее время в разряд экономически невыгодных (неактивных), на них насыпать барьерный слой, т. е. сформировать геохимический барьер, и поверх него уложить слабоминерализованные породы текущей вскрыши или уже накопленные отходы в виде некондиционных руд и пород вскрыши. Запасов геогенного месторождения достаточно для работы по балансовым рудам еще как минимум на 15–20 лет. По завершении этого периода можно ожидать значительного увеличения содержания полезного компонента в нижнем слое техногенного месторождения. Для ускорения накопления полезного компонента предлагается инициировать процесс растворения золотосодержащих пород путем нанесения на поверхность верхнего слоя хлористого железа, поваренной соли, серной или соляной кислоты, бактерий и других компонентов.

Процессы самопроизвольного преобразования золота отмечены в хвостохранилище Дарасунской обогатительной фабрики [6], где фиксируется достаточно стабильная щелочная реакция среды (pH 7,6–8,6). Установлено, что кроме самородного остаточного сильнокорродированного золота здесь присутствует новообразованное пленочное (самородное) золото, нарастающее на сульфиды, а также вторичное золото, переотложенное с участием микроорганизмов. Таким образом, имеет место самопроизвольное изменение состояния золота. Ускорить этот процесс, обеспечить управление путями миграции и осаждением золота можно за счет создания соответствующих условий для растворения, миграции и осаждения металла в отвалах некондиционных золотосодержащих пород.

Применительно к Дарасунской группе месторождений предлагается следующая схема. Добытая руда предварительно подвергается фотометрическому разделению на собственно сульфидную (жильную) массу, представляющую собой практически готовый концентрат, и вмещающие вкрапленные образования (березиты) с низким

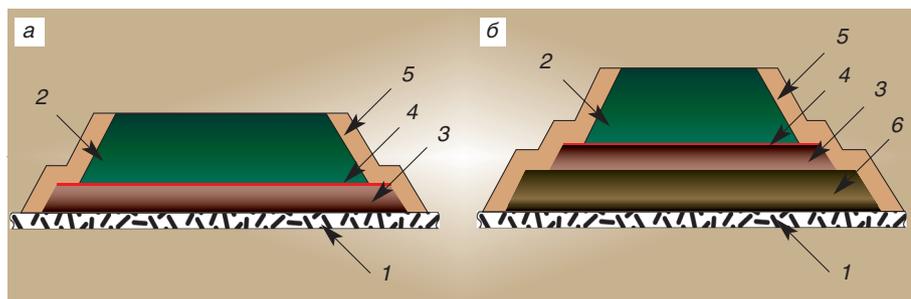


Рис. 1. Базовые схемы отвалов при формировании техногенных золотосодержащих месторождений:

- 1 – фильтрационный слой; 2 – слой, сформированный из горных пород с низким содержанием полезного компонента (выщелачиваемый слой);
- 3 – барьерный слой; 4 – геохимический барьер; 5 – антифильтрационный экран;
- 6 – слой некондиционных полезных ископаемых (обогащаемый слой)

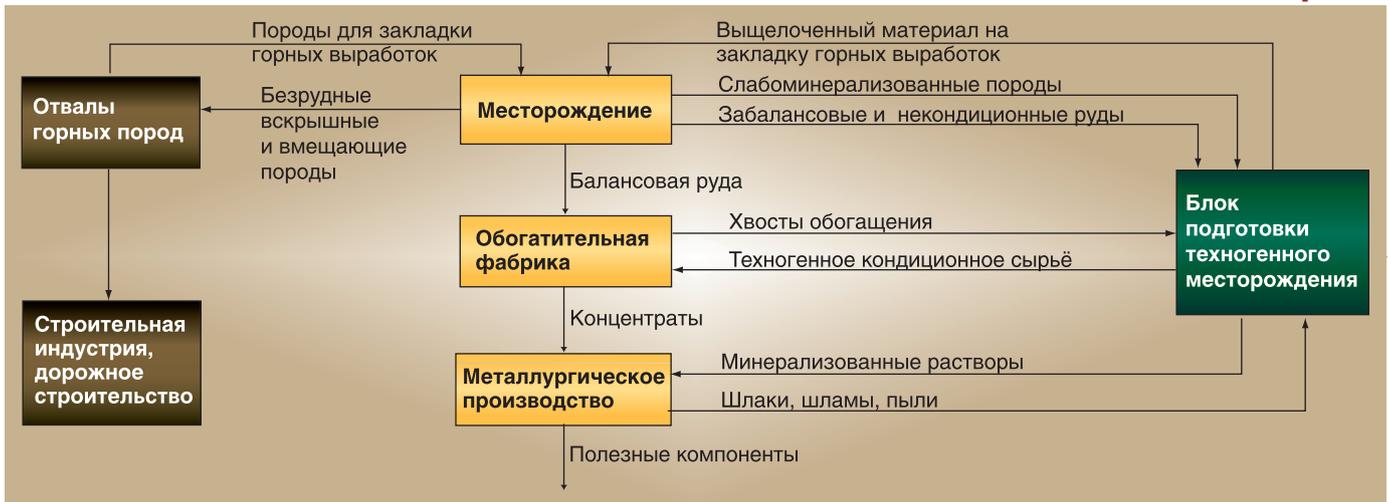


Рис. 2. Принципиальная схема комплексного безотходного освоения недр

содержанием золота. Последние укладывают на фильтрационный слой вместе с забалансовыми рудами Талатуйского месторождения. Поверх этого отсыпают сначала барьерный слой, играющий роль геохимического барьера, а затем – слабоминерализованные вскрышные породы Талатуйского месторождения. Всю «конструкцию» защищают антифильтрационным экраном. Скорость обогащения нижнего слоя можно инициировать добавлением растворяющих компонентов и микроорганизмов. В последующем верхний выщелоченный слой отправляют в отвал пустых пород или возвращают в отработанный карьер, а нижний – обогащенный – направляют на обогатительную фабрику либо подвергают кучному выщелачиванию.

По оценке экспертов, при переводе хотя бы 50 % золота из выщелачиваемого слоя в слой обогащения себестоимость 1 г металла в целом снизится на 10–15 %, а объем извлекаемого золота по сравнению с поставленным на баланс увеличится, как минимум, на 20 %. Реализация подобных схем весьма привлекательна в экономическом отношении, так как позволяет в начальный этап освоения обходиться малыми мощностями обогатительных фабрик (т. е. существенно снизить первоначальные капиталовложения), перерабатывать богатые руды, получать повышенную прибыль, что в целом позволяет ускорить процесс возврата инвестиций. Кроме того, за счет покрытия отвала

антифильтрационным слоем снижается негативное воздействие отходов на окружающую среду.

Включение в традиционную схему отработки месторождения процесса подготовки техногенного месторождения (рис. 2) формирует принципиально новый подход к проблеме рационального использования недр. Данное стратегическое направление позволит более активно инвестировать вовлечение в оборот коренных месторождений золота. Важным условием реализации указанного направления является создание в регионе специальной структуры, обеспечивающей научное и технологическое решение формирования техногенных месторождений с учетом индивидуального подбора схем складирования, материалов барьерного слоя и геохимического барьера, условий растворения и осаждения, вида бактерий и растворителей для каждого конкретного объекта. ■

Список литературы

1. Харитонов Ю. Ф. Техногенные образования Читинской области: эколого-экономическая оценка // Мине-

ральные ресурсы России. Экономика и управление, 2002. – № 6.

2. Сидельникова Г. В. Опыт применения кучного выщелачивания золота // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2001. – № 3.

3. Воробьев А. Е., Чехушина Т. В., Воробьев С. Е. Способы и методы формирования техногенных минеральных объектов при открытой разработке сложноструктурных месторождений: Обзор. информация. – М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1990.

4. Берникова Л. М., Лобанов Д. П., Небера В. П. Технологические аспекты состояния и развития биотехнологии. – М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1989.

5. Польшкин С. И., Адамов Э. В., Панин В. В. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. – М.: Недра, 1982.

6. Амосов Р. А., Коренкова Н. Г., Остапенко Л. А. Экологические последствия разработки золоторудных месторождений (на примере Дарасунского рудника) / Перспективы развития золотодобычи в Забайкалье. – Чита, 2003. – С. 31–32.

