

УДК 622,7+669+55

Л.В. Шумилова

**ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ
ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД С ДИСПЕРСНЫМИ
ФОРМАМИ НАХОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА**

Семинар № 26

В последние годы в минерально-сырьевом комплексе наметилась тенденция роста дисбаланса между добычей и приростом балансовых запасов руд месторождений полезных ископаемых, что создает серьезную проблему для развития металлургии и машиностроения.

По последним данным академика РАН В.А. Чантурия – в мире наблюдается снижение добычи различных минералов на каждого жителя Земли, а именно: 1985 г. – 2,038 т., 2002 г. – 1,873 т. [1].

Развитие минерально-сырьевой базы золотодобывающей промышленности на современном этапе связано, главным образом, с масштабным вовлечением в разработку руд с рассеянными (дисперсными) формами нахождения золота в кристаллической решетке минералов-носителей.

В основном такими минералами являются сульфиды железа, железа и меди, свинца, висмута, а также сульфосоли, в том числе содержащие железо и медь. Извлечение дисперсного золота из таких минералов требует применения сложных многостадийных схем обогащения, включающих их предварительное концентрирование и окисление перед его выщелачиванием.

Творческая группа учёных Читинского филиала ИГД СО РАН и Читинского государственного университета: под руководством д-ра техн. на-

ук Секисова А.Г. (Резник Ю.Н., Шумилова Л.В., Конорёва Т.Г.), с участием профессора Трубачева А.И. провела анализ форм нахождения дисперсного золота в минеральном и органическом веществах.

Главный классификационный признак, используемый авторами для выделения форм дисперсного золота – тип соединений золота с элементами, образующими минералы, микроминералы и нановключения в кристаллической решетке.

Для оптимального выбора технологической схемы переработки упорных золотосодержащих руд необходимо определить минеролого-геохимические и структурно-текстурные параметры, а также формы дисперсного золота.

Можно выделить отдельные формы дисперсного золота по характеру межэлементных связей в содержащей его минеральной матрице: (золото – металл, золото – металлоид, золото – неметалл, золото – органическое соединение, в состав которого входят функциональные группы CN, CNS, CONH и их различные комбинации). Дисперсные и микроскопические формы выделения золота важно различать как с геологических, так и с технологических позиций, поскольку эти формы связаны с различными процессами рудогенеза или, по крайней мере, определяются изменением его физико-химических параметров.

В настоящее время существует ряд проблем анализа руд с дисперсными формами золота, его выщелачивания и сорбции, что в свою очередь дополнительно осложняется многообразием форм нахождения дисперсного золота.

В месторождении Карлин в Неваде тонкое золото ассоциируется с галенитом, сфалеритом, антимонитом, хальцедоновидным кварцем, реальгаром, но главными его носителями являются глинистые минералы; золото нарастает на торцы их чешуек [2]. В рудах Карлинской провинции, по данным [3] золото ассоциирует с двумя геохимическими группами: Hg-Sb-As-Tl, Hg-As-W(Mo).

В этом золоторудном месторождении органическое составляющее в основном представлено углеродистым веществом, включая черные сланцы [4]. Зоны сульфидизации в черносланцевых толщах следует рассматривать как неисчерпаемые комплексные месторождения, так как их параметры в целом ряде случаев сопоставимы с крупнейшими геологическими телами [5].

Российские месторождения, относящиеся к черносланцевой (формации, объединяет рассеянное состояние золота, находящегося в пирите и арсенопирите в тонкодисперсном или химически связанном виде, а также обогащенность вмещающих пород углеродистым веществом. Запасы Сухого Лога оценены в 1100 т золота, а Наталкинского - в 300 г.

Месторождения Забайкалья (как собственно золоторудные, так и сульфидных руд различных формационных типов) характеризуется ассоциациями: Au-Cu-As-Sb-Pb-Zn, Au-Cu-Te-Bi, Au-As-Sb, Au-Mo, Au-Mo-W, Au-V-Cu-Mo. Например, в пиритах некоторых золоторудных месторождений Забайкалья не только установлена его

геохимическая связь с теллуrom и серебром, но и удалось обнаружить его в составе микроминерала, конкретно петцита Ag_3AuTe_2 .

Хотя для некоторых месторождений, в том числе такого крупного как Дарасунское (Забайкалье), содержание золота в халькопирите может быть существенно больше, чем в основном его минерале-концентрате - арсенопирите 84 против 37 г/т соответственно.

Соединения золота и серебра с селеном как самостоятельные мономинеральные фракции (например, фишцессерит Ag_3AuSe_2) уверенно выделяются в ограниченном числе месторождений.

Элементом-металлоидом, с которым золото образует биэлементное соединение, является сурьма: в стибните оно присутствует в виде микроминерала ауристибнита ($AuSb_2$).

Известны также обнаруживаемые в виде микроминералов смешанные природные соединения золота - с теллуrom и с сурьмой (монтбрайит $(AuSb)_2Te_3$), с металлами - серебром (электрум), ртутью (амальгамы), медью (купроаурит, ауруприд), некоторыми платиноидами (палладием, платиной, родием), висмутом (висмутистое золото), медью и палладием (рожковит).

Вопрос о форме нахождения дисперсного золота в сульфидных минералах за исключением случаев, когда оно входит в состав микроминералов носит в большей степени характер предположений, разумеется, основанных на некоторых экспериментальных фактах. В частности, как показали исследования американских и английских химиков, золото может образовывать с серой кластерные соединения с хелатными связями (бидентантное хелатирование). Например, установлено соединение $Au_{10}S_{20}$.

О возможности наличия химических связей дисперсного золота с серой в некоторых сульфидных минералах косвенно говорит тот факт, что пирит (FeS_2) проявляет золотоносность, а пирротин (FeS), даже в парагенезисе с пиритом - нет.

По-видимому, не только в арсенопирите (скородите) атомы золота имеют комплексные связи (золото-мышьяк-железо-сера) (кислород + водород), но и в таких минералах-концентраторах золота как гетит, гидрогетит, алуниит, монтмориллонит. В органическом веществе, содержащемся в рудах дисперсное золото преимущественно присутствует в форме комплексных соединений.

Соответственно при этом атомы золота имеют связи (с разной степенью прочности) одновременно с кислородом-железом-водородом, алюминием-кислородом-серой-водородом, алюминием-магнием-кислородом-водородом, углеродом-азотом-кислородом, углеродом-серой-водородом.

На основе проведенного анализа форм нахождения дисперсного золота в минеральном и органическом веществах творческой группой учёных сделан вывод о том, что оно встречается в трех принципиально различных по характеру связей с минералообразующими элементами: в форме простых и комбинированных соединений; комплексных соединений с несколькими элементами, образующими своеобразные лиганды.

Классификационная схема форм дисперсного золота в минеральном и органическом веществах, основанная на этом признаке выделения, следующая: в форме простых соединений с одним из элементов непосредственно, в том числе металлами: металлами-аналогами и металлами, имеющими более сложную структуру ядра атома, чем у золота; неметаллами; металло-

идом – стибниты; в форме комбинированных соединений – золото с металлами, неметаллами и металлоидами, в том числе: селениды; теллуриды; сурьмяные соединения; сурьмяно-теллуридные соединения; в форме комплексных соединений: на основе железа; на основе алюминия; с органическими лигандами; с серой и металлами - металлосернистые; с кремнием и кислородом – кремнекислородные соединения; сурьмяно-теллуридно-сернистые соединения [6].

Основной геолого-технологической особенностью руд, содержащих дисперсное золото, является необходимость разделения их на типы и сорта не только по вещественному составу и текстурно-структурным характеристикам, но и по его минеролого-геохимической ассоциируемости. Под последней понимается парагенетически связанные минералы, концентрирующие дисперсное золото и элементы, с которыми оно образует химические связи (минералообразующие и сопутствующие).

Определение золота в рудах и горных породах в настоящее время осуществляется по следующим методам: атомно-абсорбционный с пламенной атомизацией; атомно-абсорбционный с электротермической атомизацией; атомно-эмиссионный спектральный; масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой и т.д. [7].

Однако, используемые стандартные методы анализа не позволяют выявить все содержащееся в руде дисперсное золото, которое относительно прочно связано с минералообразующими элементами или органическими соединениями. Для извлечения золота из этих минералов требуется предварительное глубокое окисление.

В Читинском филиале ИГД СО РАН совместно с Читинским государ-

ственным университетом под руководством доктора технических наук А.Г. Секисова была создана творческая группа ученых (Ю.Н. Резник, Л.В. Шумилова, А.Ю. Лавров, Ю.И. Рубцов, Д.В. Манзырев, Н.Н. Зими́на) с участием инженера-химика Т.Г. Конаревой для проведения исследований по технологическому тестированию упорных золотосодержащих руд месторождений Кокпатас, Забайкалья и Бурятии. Руды данных месторождений относятся к упорным и содержат золото в дисперсной форме.

В процессе тестирования руд месторождений Кокпатас применялись как традиционные схемы рационального анализа с последовательным растворением в щелочи и кислоте пленок и включений соответствующих минералов, с использованием соответствующих окислителей и комплексообразователей, в том числе полученных в результате электросинтеза и фотосинтеза. В качестве активного компонента обрабатывающего раствора использовались следующие химические соединения: перекись водорода в метастабильной форме, получаемой путем электролиза водной фазы, или комбинированной – стабильно - метастабильной, образуемой в процессах фотолиза или радиолиза; хлорсодержащие реагенты (гипохлорит натрия, соляная и хлорноватистая кислоты), продуцированные путем электрохимического и фотохимического синтеза.

Тестирование отобранных проб руды осуществлялось в Центральной физико-химической лаборатории (ЦФХЛ) Северного рудоуправления Навоийского ГМК (г. Учкудук).

Геолого-технологическое тестирование по методике стадийной окисления окисленных руд (силикатный подтип) Удоканского месторождения,

хвостов флотационного обогащения Дарасунского месторождения, магнетитовых шлихов Баунтовского рудного узла позволило выявить наличие в них как органо-металлических форм дисперсного золота, так и его формы прочно связанные с минеральной матрицей. При этом содержание таких форм золота составило от 0,04 г/т (Удокан) до более 10 г/т (магнетитовый шлик).

Тестирование отобранных проб руды осуществлялось в ЛИЦИМСе классическим пробирным (с купеляционным окончанием) и пробирно-атомно-абсорбционным методами.

При обосновании методики геолого-технологического тестирования руд с дисперсным золотом участники эксперимента в первую очередь исходили из результатов исследований, проведенных на базе трех золоторудных месторождений Кокпатас, Даугызтау (Узбекистан, Навоийский вилоят) и Yellow Jacket (США, штат Невада, округ Кларк).

На основании обработанных статистических данных анализа практического опыта работы горных предприятий, перерабатывающих упорные сульфидные руды (промышленные аналоги), и результатов научных исследований на примере различных типов руд ряда месторождений Забайкалья и республики Узбекистан, разработана геолого-технологическая классификация золотосодержащих руд с дисперсными формами металла по обогатимости. Сульфидный геолого-технологический тип руд классифицируется на три подтипа: сульфидно-сульфосолевой (пирит-арсе-нопиритный), сульфидно-солевой с непродуктивными включениями углистого вещества и сульфидно-сульфо-солевой с включениями золотосодержащего углистого вещества. В каждом типе выделены промышлен-

ные сорта руд в зависимости от содержания, уровня и формы дисперсного золота.

Таким образом, для выбора оптимального варианта переработки сульфидных руд геолого-технологические типы руд с дисперсными формами золота целесообразно выделять по крупности зерен минералов - носителей и их парагенезису, определяющих технологическую схему получения

продукта, направляемого на пирро или гидрометаллургический передел, а подтипы – по характеру химической связи с основными и сопутствующими элементами минеральной матрицы, определяющей химическую активность и концентрацию, используемых при технологическом тестировании окислителей перед цианированием (от гипохлорита Na до перекисно-щелочной смеси).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России / В.А. Чантурия // В сб. «Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья». – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2008. – С. 7-12.
2. Hausen D.M., Kerr P.F. Fine gold occurrence at Carlin, Nevada.- In: Ore deposits of the United States, 1933-1967. N. Y. Amer. Inst. Mining Metallurg. and Petroleum Engrs., Inc.1968.
3. Gold deposits of the Carlin Trend, Nevada, Society of Economic Geologists. Vol.18, Scoeter, T.G. Muddy Lake projekt, Geol. Fieldwork, 1985 min. of Energy Paper 1986-1, p.157-161.
4. Зубков В.С. // Геохимические процессы и полезные ископаемые. Вып. 2. – Иркутск: Вести. ГеоИГУ. 2000.- С. 74-93.
5. Сидоров А.А., Томсон И.Н. // Вестн. ОГПГН РАН. 2000. Т. 11. № 1.
6. Секисов А.Г. Дисперсное золото. Геологические и технологические аспекты. / А.Г. Секисов. Н.В. Зыков. В.С. Королев. – Чита: ЧитГУ, 2007. - С. 269.
7. Седельникова Г.В. Современные методы определения благородных металлов в минеральном сырье / Г.В. Седельникова, А.В. Мандругин, Д.Е. Бодров // В сб. «Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья». – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2008. - С. 136. **ИИДБ**

Коротко об авторе

Шумилова Л.В. – кандидат технических наук, доцент, Забайкальский горный колледж, заместитель директора по учебной работе, докторант Читинского государственного университета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Г. Секисов, директор Читинского филиала ИГД СО РАН.



УДК 622,7+669+55

Л.В. Шумилова

ПРИЧИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УПОРНОСТИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД С НАНОВКЛЮЧЕНИЯМИ МЕТАЛЛА ПРИ ЦИАНИРОВАНИИ

Семинар № 26

Чрезвычайное разнообразие вещественного состава сложных золотосодержащих руд с дисперсным золотом с большим диапазоном дискретности, типов его химической связи с основными минералообразующими элементами и акцессорными, а также существующие требования максимально эффективного использования минеральных ресурсов вызывают необходимость выделения таких руд в отдельную категорию упорного золотосодержащего сырья.

В зарубежной практике обогащения руд в 1981 г. W.J. Guay [1] предложен очень простой и информативный метод оценки упорности руд. Сущность этого метода заключается в том, что «упорность» руд определяется только показателями извлечения золота по атомно-абсорбционному методу анализа при стандартном цианировании.

В соответствии с этой методикой золотосодержащие руды по технологической упорности делятся на два типа: 1) неупорные (цианируемые – извлечение металла 80 % и более); 2) упорные – извлечение металла менее 80 %.

После открытия на севере штата Невада месторождений золота в частично метаморфизованных осадочных карбонатно-алюмосиликатных породах с концентрированием его как в сульфидах, так и в углистом веществе (так называемый Карлинский тип) с преобладающим размером выделений золота менее 5 мкм, стало понятно, что изуче-

ние форм его нахождения в рудах должно быть проведено более детально. Характерной особенностью руд карлинского и аналогичных типов является наличие «невидимого» золота.

Классификация причин упорности руд с дисперсным золотом, предложенная американскими геологами, безусловно, является научно обоснованной и практически применимой для руд Карлинского типа. Но, так как существует большое разнообразие генетических типов месторождений руд, содержащих дисперсное золото в различных формах, требуется проведение геолого-технологической оценки руд, исходя из конкретных условий.

Для эффективной переработки минерального сырья учёные на протяжении более семидесяти лет стремятся создать единую классификацию золотосодержащих руд.

Так В.В. Лодейшиковым, в качестве главного разделительного критерия при технологической классификации золотых и серебряных руд по упорности, принимается коэффициент извлечения Au и Ag на стадии цианистого выщелачивания K_{ϵ}^u , выражаемый через коэффициенты физической (ФД), химической депрессии (ХД) и сорбционной активности руды (СА) [2].

В.И. Зеленовым предложена дифференцированная технологическая типизация золотосодержащих руд. Выделение основных типов руд в данном случае рекомендуется производить,

исходя из наличия в них, кроме золота, других ценных компонентов [3].

В научных публикациях Г.В. Седельниковой, технология переработки руд рассматривается применительно к их технологическим типам. Приводятся шесть основных технологических типов золотосодержащих руд, которые выделены с учетом промышленной значимости полезных компонентов, форм нахождения и крупности золота, степени окисленности минералов, наличия осложняющих примесей и отличаются различными технологиями переработки руд [4].

Доктор технических наук М.И. Фазлуллин рассмотрел следующие характерные признаки, определяющие степень их благоприятности для кучного выщелачивания различных промышленных типов месторождений: по минеральному составу; по содержанию сульфидов; по морфологическим типам месторождений. В каждом из перечисленных промышленных типов месторождений возможность пригодности для освоения способом кучного выщелачивания цианированием оценивается степенью благоприятности: весьма благоприятные, благоприятные, малоблагоприятные, неблагоприятные [5].

Приведенные выше примеры наглядно показывает, что разработка единой (универсальной) классификации золотосодержащих руд по упорности, в одинаковой степени удовлетворяющей специалистов различного профиля, является весьма сложной задачей, к решению которой можно подходить с самых различных позиций. Следует отметить, что работы уважаемых и авторитетных отечественных ученых, докторов технических наук – В.В. Лодейщикова (Иргиредмет), Г.В. Седельниковой (ЦНИГРИ) и В.И. Зеленова, М.И. Фазлулина (ВНИИХТ) по вопросу классификации золотосодержащих руд по упорности имеют большое практическое значение.

Однако, в настоящее время вовлекаются в переработку упорные золото-содержащие руды крупных близповерхностных месторождений с низким содержанием металла 0,5-2,0 г/т с присутствием дисперсного золота в сульфидах. В связи с тем, что цены на золото увеличились, а запасы богатых легкообогатимых руд истощились, проблема переработки таких типов руд перешла из ранга незначительных в ранг актуальных.

Анализ результатов, проведенных исследований, сопоставление их с промышленным опытом извлечения золота из руд сложного вещественного состава, практически всех известных в мире разновидностей золоторудного сырья, привели автора к выводу о целесообразности выделения упорных золотосодержащих руд с дисперсными формами золота в отдельную категорию минерального сырья и о необходимости выработки научно-обоснованных критериев для выбора рациональной технологии их переработки.

В классификации технологические типы выделяются по уровню извлечения при использовании стандартных схем сорбционного цианирования, а подтипы – по химической активности и концентрации, используемых при технологическом тестировании окислителей перед цианированием (от гипохлорита натрия до перекисно-щелочной сети).

Все золотосодержащие руды с дисперсным золотом в зависимости от показателя извлечения в них металла при стандартном цианировании более или менее 80% делятся на два технологических типа по обогатимости: 1) простые – легкоцианируемые (не упорные или легко- и среднеобогатимые); 2) упорные – трудноцианируемые (труднообогатимые).

В соответствии с разработанной классификацией руды, у которых извлечение золота в жидкую фазу при

использовании атомно-абсорбционного метода анализа составило менее 80%, отнесены к упорным рудам. В свою очередь упорные руды в зависимости от химической активности и концентрации, используемых при технологическом тестировании окислителей перед цианированием, делятся на три группы: руды с физическими причинами упорности, руды с физико-химическими причинами упорности и руды с химическими причинами упорности. Каждая из выше указанных групп руд подразделяется на ряд подтипов.

В классификации золотосодержащих руд с дисперсным золотом по технологической упорности автор предлагает выделить в отдельную категорию (подтип) руды с физико-химическими причинами упорности при цианировании. К такой категории относятся руды, которые содержат флотоактивные и сорбционно-активные компоненты - глинистые минералы или углистые вещества, усложняющие получение флотоконцентрата золотосодержащих минералов и/или поглощающие золото из раствора, быстрее, чем технологические сорбенты (активированный уголь или ионообменные смолы). Кроме того, физико-химическая упорность руд определяется и наличием нано- и окточастиц золота, имеющих химическую связь с органическими элементами, образующими сульфидно-сульфосолевою матрицу.

На результаты предварительного обогащения руд с дисперсным золотом флотационным методом большое значение оказывают следующие параметры: размер вкрапленности сульфидных и сульфосолевых минералов и их типоморфные признаки; соотношение сульфидных и сульфосолевых минералов; наличие технологически активных жильных минералов, обладающих по отношению к ним абразивными (кварц, турмалины, гранаты) или близкими к

ним поверхностно-активными свойствами (минералы глин, гидрослюда).

С целью интенсификации процесса окисления упорных руд, сульфидно-сульфосолевых концентратов и повышения извлечения золота творческим коллективом авторов (ЧФ ИГД СО РАН совместно с Читинским государственным университетом) было предложено осуществлять комбинированное окисление – предварительное физико-химическое и последующее бактериальное, а для повышения извлечения золота из окисленного концентрата – двухстадийное сорбционное цианирование с использованием электроактивации (или фотоэлектроактивации) пульпы и контрольной электросорбцией.

При переработке сульфидно-углистых, сульфидно-сульфосолевых руд с углистыми и органическими включениями наиболее активными естественными сорбентами золота являются углистые сланцы. Кроме графита (и некоторых других углесодержащих минералов) в качестве сорбентов золота в цианистом процессе могут выступать: глинистые минералы, например, пиррофиллит.

Извлечь дисперсное золото из сульфидных и сульфосолевых минералов, особенно при тонковкрапленной структуре руд и наличии в рудах глинистого «цемента», теллуридов и органического субстрата наиболее сложно. Но и в этом случае, используя для окисления сульфидной матрицы активный кислород и (или) хлорсодержащие окислители, можно обеспечить достаточно высокие (свыше 90%) показатели извлечения золота при последующем цианировании и, следовательно, перевод золота в жидкую фазу.

Сущность идеи опережающего (до бактериального) физико-химического окисления, а затем контрольного биокисления, заключается в том, что на первой (предварительной) стадии элек-

трохимической или фотоэлектрохимической обработки пульпы или растворов реагентов осуществляется электросинтез или фотоэлектросинтез окисляющих реагентов (метастабильной перекиси водорода, гидроксил-радикала). В сочетании с серной кислотой эти реагенты производят первичное окисление железа с образований наноскопических элементарной серы, необходимой для последующего интенсивного развития тионовых бактерий. На второй стадии ведут собственно бактериальное окисление минеральной матрицы в среде H_2SO_4 с вводом соответствующих добавок [6].

Для выщелачивания сложных форм дисперсного золота из упорных сульфидных определенного состава и сульфидно-углистых руд (например, месторождения Кокпатас и Даугызтау) и их концентратов эффективно применение полиреагентных хлоридно-кислородно-водородных комплексов, образующихся поэтапно путем облучения прианодной зоны в ультрафиолетовом диапазоне. При этом после подкисления пульпы серной кислотой формируются перекись водорода и метастабильные комплексы активных ион-ради-

кальных соединений кислорода и водорода (П.р. по заявке № 2007118333/03 (019956) от 16.05.2007. Секисов А.Г., Резник Ю.Н., Зыков Н.В., Шумилова Л.В., Лавров А.Ю., Манзырев Д.В., Климов С.С., Королев В.С., Конарева Т.Г.).

Таким образом, для извлечения золота из сульфидно-углистых, сульфидно-сульфосолевых с углистыми и органическими веществами руд и концентратов, необходимо предварительно (перед цианированием) насыщение жидкой фазы активным кислородом (перекисью, гидроксил-радикалом) для насыщения им пленочной воды, стадийной сорбции для снижения эффекта переосаждения на минералы-сорбенты первично выщелачиваемых форм золота, локализуемых в поверхностных слоях минеральных частиц (в первую очередь FeS_2).

В практике переработки сульфидных руд с дисперсными формами золота такая технология активации растворов эффективна при комбинировании кучного и кюветного выщелачивания и позволяет добиться извлечения кластерного золота на уровне 94-96 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yannopoulos J.C.* The extractive metallurgy of gold. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
2. *Подейшиков В.В.* Основы технологии извлечения золота и серебра из упорных руд: дис. д-ра техн. наук. – Иркутск: 1987. – 457 с.
3. *Зеленов В.И.* Методика исследования золотосодержащих руд. – М.: Недра, 1990. – 254 с.
4. *Седельникова Г.В.* Опыт применения кучного выщелачивания золота / Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1996, № 5. – С.21-25.
5. *Фазлуллин М.И.* Кучное выщелачивание благородных металлов: ответственный редактор д-р техн. наук, профессор – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – 646 с.
6. *Секисов А.Г.* Дисперсное золото. Геологические и технологические аспекты. / А.Г. Секисов, Н.В. Зыков, В.С. Королев. – Чита: ЧитГУ, 2007. – С. 269. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Шумилова Л.В. – кандидат технических наук, доцент, Забайкальский горный колледж, заместитель директора по учебной работе, докторант Читинского государственного университета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.Г. Секисов*, директор Читинского филиала ИГД СО РАН.