

УДК 622.7

DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-52-59

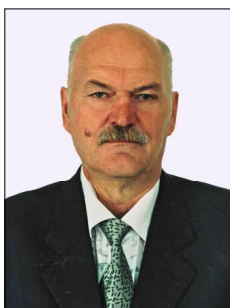
ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОБОГАТИМОГО (УПОРНОГО) МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

INNOVATIVE GEOTECHNOLOGIES OF HARD-TO-ENRICH (PERSISTENT) MINERAL RAW MATERIALS DEVELOPMENT



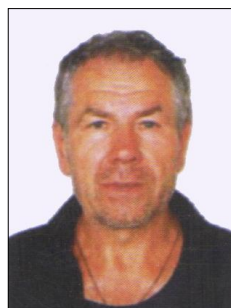
А. Г. Секисов,
Институт горного дела
ДВО РАН,
г. Хабаровск
sekisovag@mail.ru

A. Sekisov,
Institute of Mining, Far Eastern
Branch of the Russian Academy of
Sciences, Khabarovsk



Ю. И. Рубцов,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
jzi.rubtsow@yandex.ru

Yu. Rubtsov,
Transbaikal State University,
Chita



Ю. С. Шевченко,
Читинский филиал ИГД СО
РАН, г. Чита
leshii.ru@list.ru

Yu. Schevchenko,
Chita branch of Siberi-
an separation of Academy of
Sciences, Chita



А. Ю. Лавров,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
lavrov_2002@mail.ru

A. Lavrov,
Transbaikal State University,
Chita



А. И. Трубачев,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
geoxxi@mail.ru

A. Trubachev,
Transbaikal State University, Chita



В. С. Салихов,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
salihovs4 I@inbox.ru

V. Salikhov,
Transbaikal State University, Chita



А. А. Петухов,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
petuhovss7469@mail.ru

A. Petukhov,
Transbaikal State University, Chita

Комплексность приоритетных месторождений Забайкалья обуславливает не только их ценность, но и упорность (труднообогатимость) руд, что негативно сказывается на инвестиционной привлекательности региона. В статье отражены основные результаты исследований академического подразделения, созданного при Забайкальском государственном университете, – Читинского филиала Института горного дела СО РАН.

Базовой направленностью исследований является использование инновационных геотехнологических процессов селективного выщелачивания из упорных руд и техногенно-трансформированного минерального сырья ценных компонентов. Активационное выщелачивание ценных компонентов растворами, и водно-газовыми эмульсиями, подготовленными путем стадийной электрофотохимической обработки исходных водных растворов соответствующих реагентов, существенно увеличивает извлечение инкапсулированного и дисперсного золота (на 25...55 %) относительно контрольной схемы стандартного цианирования, а также не менее чем на 10...15 % молибдена, меди, вольфрама, редкоземельных элементов. При этом такой раствор, подготовленный в электрохимических и фотохимических реакторах определенной конструкции, используется в системах кучного, кюветного, скважинного и шахтного (блочного) выщелачивания.

Использование активированных растворов и водно-газовых эмульсий, помимо непосредственного капельного орошения минеральной массы, эффективно и при окомковании хвостов флотации, кеков цианирования, золотомышьяковистых огарков. Кинетика и динамика активационного скоростного выщелачивания золота, как показывают многочисленные эксперименты и опытно-промышленные испытания, выгодно отличаются от стандартных схем. Причем основное количество ценного компонента извлекается на стадии диффузионного окисления – селективного растворения после пропитки или окомкования минеральной массы

Ключевые слова: Забайкалье; инвестиционная привлекательность; упорные руды; ценные компоненты; электрохимические реакторы; фотохимические реакторы; активированные растворы; инкапсулированное золото; дисперсное золото; активационное скоростное выщелачивание

The complexity of the priority deposits of Transbaikalia determines not only their value, but also the persistence (difficulty of enrichment) of ores, which negatively affects the investment attractiveness of the region. The article reflects the main results of the research of the academic division created by the Transbaikal State University – Chita branch of the Mining Institute, SB RAS.

The basic focus of which is the use of innovative geotechnological processes of selective leaching from resistant ores and technogenic-transformed mineral raw materials of valuable components. Activation leaching of valuable components with solutions and water-gas emulsions, prepared by electrophotochemical stage treatment of initial aqueous solutions of the corresponding reagents, significantly increases the extraction of encapsulated and dispersed gold (about 25...55 %) relative to the control scheme of standard cyanidation, as well as by at least 10...15 % of molybdenum, copper, tungsten, and rare earth elements. At the same time, such a solution prepared in electrochemical and photochemical reactors of a certain design is used in pile, vat, borehole and other systems.

Use of activated solutions and water-gas emulsions in addition to direct drip irrigation of the mineral mass it is also effective for pelletizing flotation tails, cyanidation cakes, and gold-arsenic stubs. The kinetics and dynamics of activation high-speed leaching of gold, as shown by numerous experiments and pilot tests, differ favorably from standard schemes. Moreover, the main amount of the valuable component is extracted at the stage of diffusion oxidation – selective dissolution after impregnation or pelletizing of the mineral mass

Key words: Transbaikalia; investment attractiveness; persistent ores; valuable components; electrochemical reactors; photochemical reactors; activated solutions; encapsulated gold; dispersed gold; activation high-speed leaching

Введение. В связи с вхождением Забайкальского края в состав ДВФО правительством региона совместно с министерством РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики, министерством финансов и минэкономразвития России сформирован пакет проектов инвестиционного экономического развития Забайкалья, где в первую очередь в качестве приоритетных отраслей выделена горнодобывающая промышленность. Поэтому научным организациям Забайкальского края (включая и вузы, в первую очередь ЗабГУ, при котором организован Читинский филиал Ин-

ститута горного дела СО РАН) необходимо подытожить основные результаты деятельности, чтобы определить перспективные направления дальнейших исследований для эффективного включения в разработанные институтами власти экономические и социальные программы.

В Забайкальском регионе руды практически всех основных генетических типов месторождений представлены наличием труднообогатимого (упорного) минерального сырья, «упорность» которого определяется его комплексностью (Бугдаинское, Дара-

сунское, Ключевское, Ново-Широкинское, Любавинское и др.). Также особенностью Забайкальских месторождений является «полиметаллическая специализация» с обязательным присутствием рудных минералов-носителей благородных металлов, в первую очередь золота. Эта особенность месторождений, вероятно, предопределила промышленно-экономический интерес крупных горнодобывающих компаний к их эксплуатации.

Вместе с тем, поскольку современные технологии добычи и переработки минерального сырья не обеспечивают в должной мере комплексного извлечения ценных компонентов из полиметаллических руд, эффективность освоения таких месторождений остается недостаточно высокой. Руды данных объектов характеризуются сложным вещественным составом (свыше 100 минеральных видов), наличием золотосодержащих сульфосолей, весьма мелкими размерами рудообразующих минералов, наличием легко шламирующейся серицито-хлоритовой, аргиллизированной и глинистой массы, присутствием значительной доли окисленных форм, развитых по первичным сульфидным и золото-полиметаллическим парагенезисам, широким развитием гидротермально-метасоматических преобразований – калишпатизации, альбитизации, карбонатизации. В текстурно-структурном плане характер руд варьирует от мелко-тонкозернистых и скрытокристаллических до брекчиевидных форм.

Названные особенности предопределяют упорность руд для обогащения и металлургического передела и даже при использовании современных технологических схем приводят к значительным потерям в хвостах, кеках и других отвальных продуктах. Потери не только носят временный характер, но и вследствие миграции элементов из техногенных образований становятся в значительной части невозвратными. За многие годы работы разномасштабных горнорудных предприятий в Забайкалье сформировалась значительная масса техногенно-трансформированного минерального сырья: отвалов и скоплений вскрышных пород, дражных, эфельных продуктов, забалансовых и окисленных руд, хвостов обогатительных фабрик, отходов химической переработки и металлургии. В Забайкальском крае в них сосредоточены значительные запасы: золота – 149 т, серебра – 921, олова – 74,3 тыс., вольфра-

ма – 10 тыс., молибдена – 24 тыс., свинца – 133,5 тыс., цинка – 192,5 тыс. т и др. [5].

С одной стороны они потенциально являются источниками получения промышленно ценных металлов, с другой – проблемными объектами вследствие труднообогатимости («упорности») сырья, предопределяемой особой гранулометрией минералов, специфическими технологическими свойствами, низким содержанием полезных компонентов в извлекаемой форме.

Материалы и методы исследования. Особую проблему как для переработки исходной руды, так и техногенно-трансформированного минерального сырья создает дисперсность наноразмерного уровня находящихся в нем золота, платиноидов и редкоземельных металлов. Академик РАН В. Г. Моисеенко, обобщая данные многолетних исследований форм нахождения россыпного золота, выделил три его вида: а) видимое золото (свыше 80 мкм), б) тонкое золото (80...1 мкм), в) наноразмерное золото (1000...1 нм). По его расчетам, в месторождениях Востока России на долю первой группы в среднем приходится 40 %, второй – 28, третьей – 31 % от общих запасов этого драгметалла. Как показали исследования, проведенные в Амурском научном центре (АмурКНИИ ДВО РАН и ИГиП ДВО РАН) и Пермском государственном университете [2; 4], наноразмерные формы золота формируются и в техногенных минеральных образованиях, в первую очередь в гале-эфельных отвалах.

Решение проблемы извлечения из упорных руд и техногенных минеральных образований инкапсулированного и дисперсного, химически связанного золота, а также других ценных компонентов, находящихся в минеральном веществе в сложноизвлекаемых формах, стало основной целью работы Читинского филиала ИГД СО РАН. При этом обосновывалась целесообразность выделения внутрикристаллического золота размером в диапазоне 0.п...п нм – нанодисперсного. В отличие от дисперсного золота атомарного (изоморфного и межузельного) уровня рассеяния, а также инкапсулированных в кристаллическую решетку минералов-концентраторов включений золота размером десятками нанометров и более, такое нанодисперсное золото относительно прочно связано с узлами кристаллической решетки.

Нанодисперсное золото представлено кластеризованными атомами, имеющими повышенную (для конкретных термобарических условий) энергию моноэлементных связей и связей с атомами других элементов, формирующих вокруг них своеобразную оболочечную структуру. Большинство химеров под кластерами понимаются наноразмерные структуры, основу которых составляет «ядро», состоящее из группы сближенных атомов металлов и окружающих ее лигандов. Атомы в составе кластеров золота могут не только занимать места в междоузлиях кристаллической решетки, но и локализоваться в узлах, замещая атомы ряда других металлов.

Во многих случаях, при содержании золота в минералах на уровне порядка десятков граммов на 1 т, его субмикронные включения не выявляются такими высокочувствительными методами как нейтронно-активационная автордиография и вторичная масс-спектрометрия. Поливалентность золота и железа допускает возможность замещения Fe^{2+} ионным радиусом $0,80 \text{ \AA}$ ионом Au^{3+} с ионным радиусом $0,85 \text{ \AA}$. Обратная корреляционная связь золота с никелем и цинком, т. е. с элементами, изоморфно замещающими железо в пирите, установленная исследованиями М. И. Новгородовой [3], косвенно экспериментально подтверждает такую возможность. Кроме того, что изоморфное замещение в кристаллах до 2...3 % атомов меди атомами золота является доказанным фактом: термодинамические расчеты, выполненные В. И. Викентьевым (ИГЕМ РАН), доказывают, что в современных сульфидах меди черных курильщиков практически все золото может находиться в изоморфной примеси [1].

Наличие биэлементных золото-серных кластерных форм нахождения благородных металлов в рудах доказано значительным количеством экспериментов с искусственными растворами коллоидного золота и S-содержащего восстановителя [8; 9]. На микрофотографиях с рассеянием в кристаллической решетке высокоэнергетичных электронов (т. е. на микрофотографиях сверхвысокого разрешения) обнаружено, что в кристаллической решетке арсенопирита атомы золота значительно чаще располагаются рядом со скоплениями атомов мышьяка, чем с атомами серы и железа.

А. Д. Генкин (ИГЕМ РАН) в 1993 г. на основании обобщения многочисленных данных

анализов и микрофотографий пирит-арсенопиритовых руд ряда месторождений Сибири выдвинул гипотезу о наличии в них бинарных ионных структур $(Fe,Au)_3^{+} - (As-S)_3^{-}$ [7]. Ряд американских геологов и технологов также считают возможным атомарный уровень дисперсности золота в рудах, используя термин «invisible gold» (невидимое, или, точнее, ненаблюдаемое золото), под которым понимается золото в виде ионов и микронных частиц в сульфидах железа [6; 8; 9].

Экспериментальные исследования, проведенные за рубежом и в ряде отечественных институтов с осаждением ионов золота на поверхность арсенопирита, привели авторов к выводу о формировании соединений, в которых главными являются не металлические связи, а ковалентные: $Fe(As-S)_2 - Au_2S$ [6; 9; 10].

Множество фактов свидетельствует в пользу того, что в арсенопирите, мышьяковистом пирите и, вероятно, в скородите золото образует совместно с мышьяком наноразмерные пленочные структуры, предположительно типа $Aun(S-As)_m$ или $Aun[(SH)_mAs_k]$.

Обобщая выводы исследователей и данные собственных изысканий, правомерно предположить, что нанодисперсное золото метастабильно и может переходить из кластерной формы в атомарно-кластерную и обратно: $(Fe,Au) - Au_2S = (Fe,Au)_3^*S$. При этом такой переход осуществляется за счет образований метастабильных соединений (AuH^*).

Концентраторами дисперсного золота в рудах и песках россыпей являются не только сульфидные и сульфоарсенидные минералы, но и окислы кремния – кварц и халцедон. Теоретически в этих минералах возможны две основные формы его нахождения: непосредственные соединения с окислами кремния (например, $Au_2SiO_3^*Au_2SiO_4$) или обособленные золото-кремниевые соединения. Можно также предположить существование биэлементных кластеров золота и кремния (Au_nSi_m), которые могут присутствовать в рудах золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Аналогичные золото-углеродные наноструктуры (Au_nC_m) могут образовываться в ходе биогеохимического рециклинга золота (часть золота при разрушении металлоорганических комплексов в осадочных породах, насыщенных органикой, в зонах ТМА мигрирует в твердофазной среде, часть – упрочняет связи с углеродом).

Многолетние исследования, начатые в МГРИ-РГГРУ и продолженные авторами в последние годы в Читинском филиале ИГД СО РАН, ЗабГУ, ЗабГК, ИГД СО РАН, на базе ряда Забайкальских рудников и приисков, в том числе Дарасунского, Ново-Широкинского, Апрельково и др., позволили экспериментально доказать, что комбинированная фотохимическая и электрохимическая обработка выщелачивающих растворов позволяет существенно повысить извлечение ими из упорных руд нанодисперсного и инкапсулированного золота, а также других благородных и редких металлов. Для использования таких растворов в фабрично-заводских схемах переработки руд и концентратов, и в геотехнологических методах кучного, кюветного, скважинного выщелачивания, авторами статьи предложен ряд технических решений (Patent 5.942.098, USA, International Class C 25 B 001/00, C 25 C 001/20; патенты РФ: № 2351937, 2386706, 2475639, 2497962, 2504648, 2593668 и др.).

Теоретическая база предлагаемых вариантов подготовки растворов и водно-газовых эмульсий, обеспечивающих их трансформацию в активные технологические агенты, содержащие высокоактивные окислители – озон, перекись водорода, гидроксил-радикал и др., заключается в следующем: при электролизе растворов ряда солей и кислот экспоненциально интенсифицируется диссоциация молекул воды, при этом повышается энергия образующихся протонов и гидратных оболочек акваионов. В результате процессов протонирования и депротонирования синтезируются гидратированные соединения полимерной структуры с аномально высоким содержанием в них кислорода, окруженные высокоэнергетичными кластерами воды.

В частности, при электролизе раствора серной кислоты (H_2SO_4) в прианодной зоне образуются моноадсерная и надсерная кислоты (H_2SO_5 , $H_2S_2O_8$), азотной кислоты – надазотная кислота (HNO_4). При электролизе гидроксида натрия ($NaOH$) образуются полипероксиды – H_nO_m . При электролизе раствора таких солей, как гидрокарбонат натрия ($NaHCO_3$), в прианодной зоне образуются моноадугольная и надугольная кислоты (H_2CO_4 , $H_2C_2O_6$), в межэлектродном пространстве – надпероксиды щелочных металлов ($Na_2C_2O_6$, $K_2C_2O_6$). При электролизе раствора хлорида натрия в прианодной зоне образуются хлор-

новатистая ($HClO$) и надхлорноватистая кислота ($H_2Cl_4O_4$), в межэлектродном пространстве – гипохлорит натрия ($NaClO$).

При облучении УФ-светом водно-газовой эмульсии, формируемой при электролизе, в объеме газовых пузырьков синтезируются высокоактивные окислители, такие как атомарный кислород, супероксид-ион-радикал (O^{*-}), озон, гидроксил-радикал (OH^*), хлористый водород HCl^* , бикарбонат-радикал $C_2O_4^*$, создающие при взаимодействии с пленочной водой, окружающей газовой пузырьки, ион-радикальные и радикал содержащие кластеры. В этом случае образование высокоэнергетичных кластеров воды реализуется через промежуточную стадию формирования газо-водных клатратов.

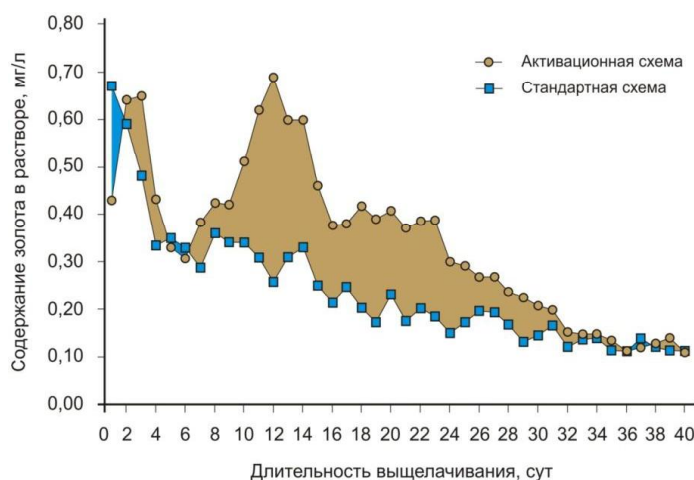
Активные кластерные и клатратно-кластерные образования в обработанных растворах могут взаимодействовать с кластерами золота как целостные реакционные единицы и соответственно обеспечивать их переход в форме сложных кластеризованных ионов в водную фазу. При этом «оболочечные» кластеризованные элементы образуют связи с кислородом воды и разрывают связи с «ядерной» частью кластера – атомами золота. Ионы натрия и/или калия, диффундирующие в область двойного электрического слоя на контакте с поверхностью минеральной частицы, могут высвободиться из гидратационной оболочки за счет окисления составляющих ее отрицательно заряженных гидроксил-ионов протонами и совместно с ними проникать в кристаллическую решетку минералов-концентратов золота. Таким образом в ней формируются дополнительные дефекты, постепенно развивающиеся в микротрещины и поры, проводящие выщелачивающие растворы.

При определенных условиях в системе минеральная среда – технологический раствор, в котором присутствуют ионные пары $H^+ \cdot H^-$, становится возможной также декластеризация золота активными гидратными комплексами и его твердофазная передислокация в атомарной (ионной) форме или в составе соединений $AuOH^*$, AuH^* к поверхности микротрещин и пор минерала-концентрата.

Наиболее представительные эксперименты по фотоэлектроактивационному кучному выщелачиванию, проведенные на руднике Апрельково, позволили установить, что выход золота в экспериментальный продук-

тивный раствор при активационном кучном выщелачивании осуществляется в два цикла, в отличие от планомерного снижения его по

контрольной схеме, что отражено на рисунке. Это свидетельствует о доизвлечении именно его дисперсных форм на второй стадии.



Кинетика выщелачивания (изменение во времени содержаний золота в продуктивном растворе) при стандартной и активационной схемах выщелачивания / Kinetics of leaching (time-dependent changes in the gold content in the productive solution) with standard and activation leaching schemes

Использование фотоэлектроактивированных растворов (водно-газовых эмульсий) позволяет повысить показатели сорбции золота из продуктивных растворов: пробирно-атомноабсорбционный анализ угля, через который пропускались продуктивные растворы (как контрольные, так и экспериментальные) подтвердил эффективность активационных схем.

Содержание золота в контрольных навесках угля находилось в диапазоне 0,8...1,5 мг/г, в то время как в экспериментальных навесках рабочая емкость составляла 1,8...3,7 мг/г.

Дальнейшие исследования позволили разработать схемы скоростного активированного кучного выщелачивания золота с применением активации электрообработкой и облучением в УФ-диапазоне, а также на-кислороживания циркулирующих растворов. По технологии, предложенной Ю. И. Рубцовым, также проведены лабораторные исследования по скоростному активированному кучному выщелачиванию золота после обжига сульфидных хвостов свинцовой флотации Ново-Широкинского рудника.

Извлечение золота составило 93 % (при контрольном уровне менее 20 % без обжига и 67 % после обжига). Максимальная концентрация золота в продуктивном растворе составила 22 мг/л (при контрольном эксперименте менее 2 мг/л).

Заключение. В ходе исследований, проведенных в лабораторных условиях и в опытных перколяторах на рудниках Забайкалья, подтверждена эффективность геотехнологий освоения месторождений упорных руд и техногенных минеральных образований с использованием активированных выщелачивающих растворов, подготовленных путем комбинированной фотохимической и электрохимической обработки. На основе проведенных экспериментов и теоретических обоснований эффективных параметров процессов активации растворов и обработки ими руды и техногенно-трансформированного минерального сырья разработаны соответствующие геотехнологические схемы кучного, кюветного и подземного выщелачивания, на большинство которых получены патенты на изобретения.

Список литературы

1. Викентьев И. В., Молошаг В. П., Юдовская М. А. Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48, № 2. С. 91–125.
2. Моисеенко В. Г., Кузнецова И. В. Нанозолото в древних известняках и доломитах октябрьского рудного поля (Приамурье) // Доклады Академии наук. 2014. Т. 456, № 4. С. 468–471.
3. Новгородова М. И., Боронихин В. А., Генералов М. Е., Крамер Х. О. О самородном кремнии в ассоциации с самородным золотом и другими металлами // Доклады Академии наук СССР. 1989. Т. 309, № 5. С. 1182–1185.
4. Осовецкий Б. М. «Новое» нанозолото // Записки Российского минералогического общества. 2012. Т. 141, № 1. С. 88–101.
5. Харитонов Ю. Ф., Васильев В. Г., Андрейчук Д. А. Эколого-экономическая оценка отходов горно-промышленного комплекса Читинской области // Ресурсы Забайкалья. Чита: ЗабНИИ, 2002. С. 63–69.
6. Berners-Price S. J., Sadler P. J. Gold (I) complexes with bidentate tertiary phosphine ligands: formation of annular vs. tetrahedral chelated complexes // Inorganic Chemistry. 1986. No. 25. P. 3822–3827.
7. Genkin A. D. Gold-bearing arsenopyrite from gold deposits: internal structure of grains, composition, mechanism of growth, and gold state // Geology of Ore Deposits. 2010. Vol. 40, No. 6. P. 490–496.
8. Leikola M., Sauer C. S., Rintala L., Aromaa J., Lundstrom M. Assessing the similarity of cyanide-free gold leaching processes: a case-based reasoning application. URL: https://www.research.aalto.fi/files/28585235/CHEM_Leikola_et_al_Assessing_the_Similarity_2018_Minerals.pdf (дата обращения: 12.09.2019). Текст: электронный.
9. Mohr F. *Gold Chemistry: applications and future directions in the life sciences*. Berlin: Wiley-VCH, 2009. 424 p.
10. Tauson V. L., Kravtsova R. G., Makshakov A. S., Lipko S. V., Arsent'ev K. Yu. Contrasting surficial composition of native gold from two different types of gold ore deposits // Minerals. 2017. Vol. 7, No. 8. P. 142.

References

1. Vikentyev I. V., Moloshag V. P., Yudovskaya M. A. *Geologiya rudnyh mestorozhdeniy* (Geology of ore deposits), 2006, vol. 48, no. 2, pp. 91–125.
2. Moiseenko V. G., Kuznetsova I. V. *Doklady Akademii nauk* (Reports of the Russian Academy of Sciences), 2014, vol. 456, no. 4, pp. 468–471.
3. Novgorodova M. I., Boronikhin V. A., Generalov M. E., Kramer H. O. *Doklady Akademii nauk SSSR* (Reports of the Academy of Sciences of the USSR), 1989, vol. 309, no. 5, pp. 1182–1185.
4. Osovetsky B. M. *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* (Notes of the Russian mineralogical society), 2012, vol. 141, no. 1, pp. 88–101.
5. Kharitonov Yu. F., Vasiliev V. G., Andreychuk D. A. *Resursy Zabaykaliya* (Resources of Transbaikalia). Chita: ZabNII, 2002, pp. 63–69.
6. Berners-Price S. J., Sadler P. J. *Inorganic Chemistry* (Inorganic Chemistry), 1986, no. 25, pp. 3822–3827.
7. Genkin A. D. *Geology of Ore Deposits* (Geology of Ore Deposits), 2010, vol. 40, no. 6, pp. 490–496.
8. Leikola M., Sauer C. S., Rintala L., Aromaa J., Lundstrom M. *Assessing the similarity of cyanide-free gold leaching processes: a case-based reasoning application* (Assessing the similarity of cyanide-free gold leaching processes: a case-based reasoning application). URL: https://www.research.aalto.fi/files/28585235/CHEM_Leikola_et_al_Assessing_the_Similarity_2018_Minerals.pdf (Date of access: 12.09.2019). Text: electronic.
9. Mohr F. *Gold Chemistry: applications and future directions in the life sciences* (Gold Chemistry: applications and future directions in the life sciences). Berlin: Wiley-VCH, 2009. 424 p.
10. Tauson V. L., Kravtsova R. G., Makshakov A. S., Lipko S. V., Arsent'ev K. Yu. *Minerals* (Minerals), 2017, vol. 7, no. 8, pp. 142.

Коротко об авторах

Секисов Артур Геннадиевич, д-р техн. наук, Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск; профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: горные науки, физическая и химическая геотехнология, экология
sekisovag@mail.ru

Рубцов Юрий Иванович, д-р техн. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: горные науки, геотехнология, экология
jri.rubtsow@yandex.ru

Шевченко Юрий Степанович, канд. техн. наук, Читинский филиал Института горного дела СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: науки о Земле, геотехнология, экология
leshii.ru@list.ru

Лавров Александр Юрьевич, канд. техн. наук, Забайкальский государственный университет; старший научный сотрудник, Читинский филиал Института горного дела СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: горные науки, геотехнология, экология
lavrov_2002@mail.ru

Трубачев Алексей Иванович, д-р геол.-минер. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: науки о земле, геотехнология, экология
geoxhi@mail.ru

Салихов Владимир Салихович, д-р геол.-минер. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: науки о земле, геотехнология, экология
salihovs41@inbox.ru

Петухов Александр Александрович, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: горные науки, геотехнология, экология
petuhovss7469@mail.ru

Briefly about the authors

Artur Sekisov, doctor of technical sciences, Mining Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy, Khabarovsk; professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mining sciences, physical and chemical geotechnology, ecology

Yuriy Rubtsov, doctor of technical sciences, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mining sciences, physical and chemical geotechnology, ecology

Yuriy Schevchenko, candidate of technical sciences, Chita Branch of the Mining Institute SB RUS, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: Sciences of Earth, geotechnology, ecology

Aleksander Lavrov, candidate of engineering sciences, Transbaikal State University; Chita Branch of the Mining Institute SB RUS, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mining sciences, geotechnology, ecology

Aleksey Trubachev, doctor of geol.-mineralogical sciences, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: Earth sciences, geotechnology, ecology

Vladimir Salikhov, doctor of geol.-mineralogical sciences, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: Earth sciences, geotechnology, ecology

Alexander Petukhov, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mining of sciences, geotechnology, ecology

Образец цитирования

Секисов А. Г., Рубцов Ю. И., Шевченко Ю. С., Лавров А. Ю., Трубачев А. И., Салихов В. С., Петухов А. А. Инновационные геотехнологии освоения труднообогатимого (упорного) минерального сырья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 1. С. 52–59. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-52-59.

Sekisov A., Rubtsov Yu., Schevchenko Yu., Lavrov A., Trubachev A., Salikhov V., Petukhov A. Innovative geotechnologies of hard-to-enrich (persistent) mineral raw materials development // Transbaikal State University Journal, 2020, vol. 26, no. 1, pp. 52–59. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-52-59.

Статья поступила в редакцию: 17.10.2019 г.
Статья принята к публикации: 14.01.2020 г.