

УДК 622.7-027.32. / .33; 622.7: 502.174
DOI: 10.21209/2227-9245-2016-22-11-42-51

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ МИГРАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ

ACCOUNTING MIGRATION ACTIVITY OF GOLD AND ACCOMPANYING ELEMENTS IN THE DEVELOPMENT OF GEOTECHNOLOGY



*Е. В. Филиппова, Забайкальский государственный университет,
г. Чита
filena78@mail.ru*

E. Filippova, Transbaikal State University, Chita

Рассмотрены миграционная активность золота и сопутствующих элементов, различные схемы миграции химических элементов.

Разработана геотехнология с учетом миграционной активности золота и сопутствующих элементов. Предлагается флотоконцентрат направлять на переработку, а вторичные хвосты транспортировать в первую секцию двухсекционного хвостохранилища, где в процессе отстаивания минеральные частицы подвергаются доокислению действием естественных агентов и растворенным кислородом, после чего при переливе во вторую секцию хвостохранилища жидкую фазу декантированной и окисленной пульпы с растворенными металлами подвергать электродиалитической обработке, в процессе которой металлы в форме катионов будут накапливаться на катионите и частично в катодной камере, а сернокислотный анолит – в анодной камере. При этом сернокислотный анолит предлагается использовать как активный выщелачивающий раствор, а твердую, минеральную фазу пульпы из второй секции хвостохранилища (после выщелачивания из нее металлов и серы) использовать в качестве материала закладки на подземном руднике, переводя в глубокие горизонты, не имеющие сообщения с поверхностными водами.

Предлагается управляемая трансформация минеральной массы в хвостохранилище с получением воды технической прозрачности, целенаправленное доизвлечение компонентов до попадания в хвостохранилище, формирование в хвостохранилище зоны накопления элементов и за дамбой формирование зоны управляемой сорбции. Технический результат достигается снижением негативной нагрузки на природные экосистемы

Ключевые слова: новая экологозащитная технология; хвостохранилище; сорбционное выщелачивание; миграционная активность; миграция; золото; химически связанные элементы; экосистемы; горнодобывающая отрасль; отходы; эффективность доизвлечения

The article considers migration activity of gold and accompanying elements, discusses various patterns of migration of chemical elements.

Geotechnology is developed, taking into account migration activity of gold and accompanying elements. It is proposed to send the flotation concentrate, obtained after passing through the flotation column, for processing, and the secondary tailings to drain to the first section of two-section of the tailings dam, where the process of settling of mineral particles is subjected to oxidation by the action of natural agents and by dissolved oxygen. After that when the liquid phase of the pulp with the dissolved metals is poured into the second section of the tailings, it is subjected to electric-dialytic treatment during which the metals in the form of cations will accumulate on the cation exchange resin and partially in the cathode chamber, and the sulfuric acid anolyte – in the anode chamber. At the same time the sulfuric acid anolyte is to be used as an active leach solution and the solid mineral phase of the slurry from the second section of the tailings (after leaching of metals and sulfur) is to be used as a material of the laying at the underground mine, transferring it into deeper aquifers that do not have communication with surface waters.

The managed transformation of the mineral mass in the tailings storage facility with the production of water for technical transparency, the additional extraction of targeted components before reaching the tailings pond, the tailings pond formation in the zone of the elements' accumulation and behind the dam, the formation of a zone controlled sorption are offered. The technical result is achieved by reducing the negative pressure on natural ecosystems

Key words: new environmental protection technology; dispersed gold; sorption leaching; migration activity; migration; gold; chemical companies elements; ecosystems; waste mining; pollutant; extraction efficiency

Усиленная разработка месторождений в XX в. привела к накоплению отходов в отвалах и хвостохранилищах. Такие техногенные образования содержат большое количество полезных компонентов, зачастую в количестве, превосходящем природные образования.

Так, Н. С. Щелканов, Ю. М. Овешников, Ю. В. Субботин [23] полагают, что земли, занятые горными выработками, хвостохранилищами, отвалами, изначально относились к нарушенным территориям, которые требуют рекультивации, особенно сейчас, когда скопилось такое количество отходов, которое способно оказывать негативное воздействие на здоровье населения.

Для оценки такого воздействия Ю. В. Павленко [14] разработал критерии оценки геохимической устойчивости нарушенных ландшафтов. В число факторов, определяющих устойчивость, типы ландшафта по условиям миграции поллютантов (денудационный, аккумулятивно-денудационный, аккумулятивный), ученым включена и сорбционная способность (низкая — для скальных, полускальных, крупнообломочных пород, средняя — для песков, супеси, крупнообломочных пород с супесчано-суглинистым заполнителем, высокая — для торфов, почвы, высокогумусовых глин, илов). Отмечается, что неосвоенные месторождения не оказывают воздействия на окружающую среду, а изменения проявляются только на разработанных объектах.

Вовлекая отходы от таких объектов в оборот, можно ускорить восстановление деградированных земель и предотвратить экологический кризис [4; 6; 8; 24; 25]. Снизить негативное воздействие на экосистемы и повысить эффективность доизвлечения благородных металлов из техногенных от-

ходов можно, если подходить к решению этого вопроса комплексно, т.е. одновременно повышать эффективность извлечения компонентов и утилизировать отходы, что существенно уменьшит антропогенную нагрузку. Это достижимо при использовании новых геотехнологий, учитывающих миграционную активность компонентов, с применением усовершенствованного оборудования, что, несомненно, повлияет и на процент доизвлечения металла.

Важно установить источник появления золота, а также пути и формы его миграции и накопления. Существует несколько подходов к этому вопросу. Общеизвестно, что источники рудного вещества — это вмещающие и подстилающие горные породы, которые подвергались выветриванию, в том числе химическому и физическому. После чего рудообразующие элементы в растворенном виде переносились и накапливались на геохимических барьерах или в трещинах и порах, образованных при нарушении структуры породы за счет антропогенных или природных изменений. Такая схема миграции подвергалась критике из-за недостаточного количества рудных элементов в породообразующих минералах и не объясняет наличие дисперсного золота в жилах и прожилках.

Кроме того, рудообразующие породы могут формироваться за счет эндогенных процессов, при которых происходило взаимодействие вмещающих горных пород и подземных вод, остывание и кристаллизация при метаморфизме, отделение гидротермальных растворов, обогащенных кремнием, серой, галогенами, комплексными анионами и металлами. Эта схема объясняет наличие обогащенного рудными элементами источника, где впоследствии

обнаруживается месторождение, однако не всегда, и такие источники трансформируются в рудные месторождения.

Миграция золота в твердой среде, скорее всего, начинается на первых этапах рудообразующего процесса при взаимодействии с почвенной и грунтовой доступной влагой, в результате чего происходит миграция в кристаллическую решетку минералов, образующихся положительно заряженных ионов и гидроксил-ионов.

А. Г. Секисовым и Д. В. Манзыревым [18–20] предложена конкретная модель рудообразования, основанная на миграционной активности элементов. В зоне повышенного геохимического образования формируются участки с повышенным напряжением, где протекают процессы твердофазной диффузии рассеянных элементов и образования микротрещин, метасоматических преобразований пород с появлением минералов, содержащих гидроксильную группу и химически связанную влагу. На втором этапе во время миграции происходит взаимодействие непосредственно металлов с почвенными, грунтовыми и подземными водами, заполняющими микротрещины, которые содержат соответствующие органические и неорганические примеси, а также отмечается циркуляция активированных высокоминерализованных вод, содержащих хлориды, цианиды, тиосульфаты.

Комплексные соединения металлов разрушаются во время закрытия трещин и отчасти за счет выветривания. Процесс твердофазной диффузии металлов интенсифицируется передачей им импульсов от протонов, которые образуются в результате бародиссоциации поровых и капиллярных вод.

На последней стадии происходит метаморфизм вмещающих горных пород при усилении тектонических напряжений, сопровождающийся локальным выносом относительно подвижных минералообразующих элементов в форме катионов с образованием кварца, сульфидов и сульфосолей.

В. Г. Романов [17] отмечает, что трещинки в породе могут равномерно запол-

няться пиритом, а после уплотнения осадков создаваться сгущения в других ослабленных местах, образовываться кальциевые, доломитовые, пиритовые породы осадочно-диагенетического и гидротермального происхождения, таким образом мигрировать в толще.

С последующей миграцией, кристаллизацией расплавов и образованием кислых plutонических пород в горячих точках мантии очагов базальтовых расплавов плавится слагающий её субстрат под воздействием поступающих высокотемпературных флюидов-теплоносителей на разных глубинах земной коры [9].

Миграция благородных металлов под действием процессов промерзания и оттаивания из техногенных россыпей изучалась Ю. А. Мамаевым, В. С. Литвинцевым, В. С. Алексеевым, А. Е. Воробьевым [2; 11]. При периодическом протаивании обломочного материала частицы золота чаще всего проникают в микротрещины, и происходит их перемещение от долей до нескольких миллиметров.

Влияние процессов криогенного воздействия на миграцию золота в техногенных отвалах можно рассматривать с учетом фракционного состава самих техногенных отвалов и ситового состава золота. Ряд авторов [С. М. Жмодик, 2012; И. Н. Мягкая, 2013] отмечает, что глины в виде окатышей являются основными носителями технологических потерь золота в галечной фракции хвостов промывки, поскольку значительная величина коэффициента сцепления частиц и показатель естественной влажности позволяют отнести глины к труднопромывистым породам, обладающим высокой сорбционной способностью. Подтвержден факт миграции ценных компонентов большой плотности под влиянием криогенных процессов. Скорость миграции золота в результате этого находится в пределах 1,6...0,3 мм/сут (для частиц золота размером 2,5 мм). Для более мелких фракций отмечается, что скорость миграции золота возрастает. При контактном размыве и отслаивании ослабляются связи между верхним и нижним слоями горной массы,

что облегчает принудительное смещение верхних слоев пород к нижним по вертикали.

На основании проведенных ими исследований предложена схема миграции золота в гипергенных условиях. Сначала происходит окислительное выщелачивание отходов и вынос элементов в дренажный раствор. В золотосодержащем сульфатном растворе золото переносится в растворенной форме, представленной разнообразными комплексами (тиосульфатным, полиотионатным, хлоридным, гидроксильным). По мере удаления от отвалов в потоке формируется взвесь, включающая Al, Si и Fe³⁺, осаждающая золото и другие элементы. Накопление золота из раствора происходит в торфах в двух обстановках: окислительная и восстановительная. Первая характеризуется отложением соединений Fe³⁺ с выделением золота. Это осуществляется за счет непосредственного осаждения элемента из золото-тиосульфатного раствора соединениями Fe³⁺ при разрушении тиосульфатного комплекса до сульфата каталитическим

влиянием микроорганизмов и переходных элементов (Fe³⁺), которое происходит в среде с pH < 5. Восстановительная характеризуется обилием новообразованных сульфидов, селенидов и резким преобладанием дисперсного золота. Здесь происходит комплексобразование с органическим веществом, с последующим восстановлением ионной формы золота до нейтрального Au; биогенное концентрирование за счет деятельности сульфатредуцирующих бактерий, с восстановлением тиосульфатных комплексов до сульфидов и осаждением золота в виде наночастиц, рассеянных в полученных сульфидах.

Н. Г. Максимович [10] предлагает другую схему миграции элементов, которую можно использовать для решения экологических проблем, искусственно создавая геохимические барьеры, в том числе и при разработке россыпных месторождений. Механическая миграция вещества при разработке россыпных месторождений представлена им в следующем виде.

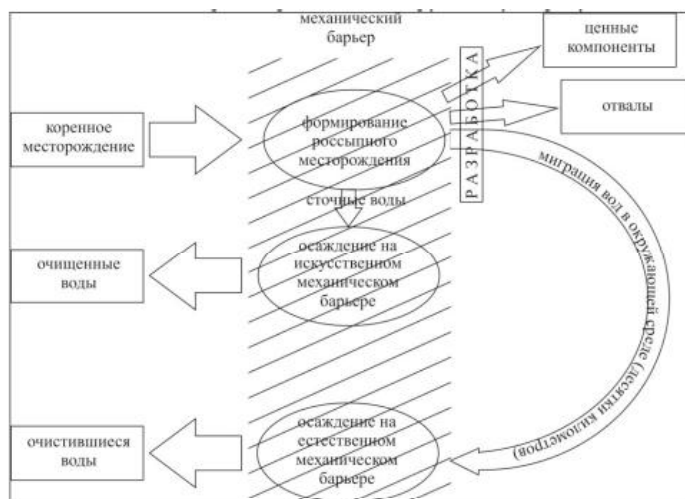


Схема механической миграции вещества при формировании и разработке россыпных месторождений
 Mechanical migration of substances during alluvial deposits' formation and development

Н. Г. Максимович использует процессы аккумуляции твердого вещества для очистки поверхностных вод от взвешенных частиц, создавая искусственные барьеры в

непосредственной близости от источника загрязнения, что существенно сокращает зону влияния месторождения на окружающую среду.

Ю. В. Алехин обосновал создание искусственных геохимических барьеров на пути миграции [1]. Им проводились экспериментальные исследования, для чего определялось кислотнo-щелочное титрование, устанавливалась буферность по рН, адсорбционная емкость катиона водорода и гидроксогруппы, величина удельной поверхности, что дало возможность определить эффективное значение рН точки нулевого заряда. Зная состав водной вытяжки и кислотность, ученым определялись подвижные формы. Для улучшения барьерных свойств вводились добавки, усиливающие осаждение или гидролиз токсикантов.

В. Н. Михайленко [12] предлагает вариант схемы миграции элементов, по которой в начале прослеживается загрязнение атмосферного воздуха твердыми веществами, далее за счет самоочищения атмосферы переотложение этих веществ на почве, проникновение их со стоками в грунтовые воды, а в последующем и в подземные. Кроме того, миграция элементов прослеживается через растения, происходит накопление токсичных веществ в побегах и листьях, в ходе чего в техногенных образованиях обнаруживается фтор, сера, мышьяк, свинец, цинк, редкие и радиоактивные элементы.

О. Л. Гаськовой в 1998 г. изучены процессы миграции при помощи физико-химического моделирования, происходящие при окислительном растворении как в природных сульфидных образованиях, так и в отвалах и хвостохранилищах фабрик, перерабатывающих сульфидные руды. Основной методологической предпосылкой являлась очевидная подчиненность поведения любых микрокомпонентов природных и техногенных систем (Au, Ag, Pt, Pd, As, Sb) тем определяющим условиям, которые формируются при взаимодействии жидкости с породой.

В техногенных экосистемах передвижение веществ происходит по тем же законам, что и в природных экосистемах. Данные схемы миграции элементов применимы как к техногенным образованиям, так и природным рудным месторождениям.

Этому вопросу посвящены работы А. И. Перельмана (1979), В. К. Лукашева (1980), Д. М. Кац (1981), И. К. Вадковской (1981), М. А. Глазовской (1982), Д. А. Морозова, Е. В. Пряничникова, Ю. Н. Семенова, Т. В. Шестаковой (2000), М. П. Толстова (2002) [21], В. Х. Дзапарова (2006) [3] и др. При добыче полезных ископаемых это происходит во время извлечения их из недр, взрывных работ, из хвостохранилищ и отвалов. Трещины и микротрещины заполняются водой, содержащей комплексные соединения, окислители, органические соединения. Миграция химических соединений наблюдается за счет осаждения на геохимических барьерах и далее происходит вовлечение их в биогеохимический круговорот, оказывая геотехногенное геохимическое давление, вовлекая элементы из техногенной среды в природную.

Наличие микротрещин в породе в дальнейшем благоприятно сказывается при выщелачивании руды, особенно содержащей дисперсные формы золота, что способствует лучшему доступу кислорода и раствора. Частицы золота укрупняются, скапливаясь в микротрещинах за счет диффузии атомов, химические связи ослабляются между атомами золота и минерала (Д. М. Кац, 1981).

На миграционную активность элементов и последующее формирование месторождений в большей степени влияют природные факторы, которые сгруппированы Л. В. Шумиловой в работах [22]: изменение температуры, давления; окислительно-восстановительного потенциала, реакция среды; соосаждение и сорбционная способность.

Установлена зависимость между реакцией среды и концентрацией золота в поверхностных водах: чем выше рН, тем ниже содержание золота. В естественных водоемах содержание взвешенной формы золота выше на порядок, чем растворенной. Вблизи отвалов высокие содержания элемента обеспечиваются растворенной формой (до 1,2 мкг/л). По мере удаления от хвостохранилища содержание взвешенной формы возрастает до 0,03 мкг/л, а растворенной остается еще больше.

Анализ научной литературы показал, что миграция золота в кислых растворах подтверждается наличием тиосульфатных, полиитионатных и хлоридных комплексов (И. В. Миронов, 1989; М. F. Benedetti, 1991), а в природных – гидроксильными группами (А. Г. Секисов, 2007).

На механическую миграцию влияет выветривание и плотность минералов: минералы с высокой плотностью сходны с частицами более крупного размера. Следует учитывать максимальную возможную миграцию элементов. А. А. Кухаренко (1979) рассматривает дальность механической миграции для фракции более 0,1 мм, устанавливает, что арсенопирит, пирит, флюорит обладают малой дальностью миграции, золото – умеренной, гематит, турмалин и др. – высокой.

Расширение ореола рассеяния и масштабы золотого оруденения зависят не просто от форм нахождения золота, а от их разновидностей [6]: чем больше форм нахождения золота, тем шире образуется ореол рассеяния.

Разные миграционные формы одного элемента имеют иногда резко отличающуюся токсичность и различные свойства, в том числе свободную энергию и коэффициент диффузии [5; 7], что сказывается на опасности среды. На живые организмы негативное воздействие оказывается сильнее соединениями, содержащими As (III), чем As (V), т.к. они являются более токсичными. Это происходит при снижении окислительно-восстановительного потенциала и увеличении pH.

Если элемент имеет переменную валентность, то это расширяет протекание окислительно-восстановительных реакций. Чем выше заряд иона и минерализация воды, тем сильнее концентрация свободных (несвязанных в комплексные соединения) ионов отличается от аналитической концентрации.

Как отмечалось ранее, окислительно-восстановительный потенциал природных вод позволяет судить о миграции элементов, а также об их концентрации и рассеянии. Зная миграционную способ-

ность хотя бы одного элемента с переменной валентностью, можно определить миграцию других элементов и величину окислительно-восстановительной способности Eh. Низкое значение Eh подтверждает миграцию Fe²⁺ (А. И. Перельман, 1979). Если Eh имеет отрицательное значение, то развиваются процессы восстановления SO₄²⁻, Fe³⁺ и др. Каждому элементу соответствует свое значение Eh. Например, при Eh = 0,7 В сильноокислая среда восстанавливается для трехвалентного железа (Fe³⁺ переходит в Fe²⁺) и окисляется для Cu²⁺, т.к. для восстановления этого катиона необходим более низкий Eh.

На миграцию элементов воздействуют водная и ветровая эрозии, которые рассмотрены И.В. Кузнецовой [8]. Специалиста интересует влияние эрозии пород на миграцию и накопление золота в россыпях Приамурья. И.В. Кузнецова обращает внимание на то, что вместе с благородными металлами накапливаются акцессорные минералы гранитоидов, такие как ильменит, магнетит, мартит, гематит и др., наличие которых отмечается в гранитах, содержащих мелкие трещины. Отмечается присутствие свободного золота и связанного (труднодоступного) в различных минералах, в частности в гидроокислах железа.

Золото может мигрировать в атомарном виде или входить в фульватные и гуматные комплексы. Реакция с золотом в атомарном виде проходит при высокой температуре в вакууме, образуются комплексы моно(дихлорид)золото Au(O₂) и моно(этилен)золото Au(C₂H₄), карбонилы Au(CO), Au(CO)₂.

Для комплексов Au(HS)₂⁻, AuCl₂⁻, AuOH А. В. Прокофьева, Д. В. Гричук [16] получили экспериментальным путем термодинамику растворимости, причем изменения особенно заметны при нейтральной и щелочной реакциях среды.

Важным промышленным месторождением золота являются кислые гидротермальные растворы, насыщенные H₂S, в которых отмечаются преобладающие формы AuHS(H₂O), AuHS(H₂S). Учитывая большую область преобладания комплекса

$Au(HS)_2^-$, сначала уточнялись его свойства по данным о растворимости золота. Установлено, что в гидротермальных растворах с $pH < 4$ преобладающей формой нахождения Au является комплекс $AuHS(H_2S)$.

При формировании техногенных россыпных месторождений наблюдаются геологические процессы, связанные с метаморфизмом. При этом изменяются окислительно-восстановительные особенности среды. Н. А. Шило назвал техногенез сжатым во времени и локализованным в пространстве гипергенезом, проявляющимся в результате преобразования перемещенных пород в новые условия среды, выражающимся в изменении их строения и состава, а также преобразовании полезных компонентов. Установлено, что в условиях разрушения органического вещества, заболоченности и отсутствии кислорода происходит разложение некоторых минералов железа с высвобождением, а затем и выносом и переотложением содержащегося в них золота (И. В. Кузнецова, 2011). Мелкие частицы нанозолота переоткладываются на поверхности и по микротрещинам минералов, что указывает на гипергенный генезис золота.

Рядом авторов (Г. В. Нестеренко, В. В. Колпаковым, Л. П. Бобошко) изучены путь и механизм миграции золота от коренных руд к россыпям. При этом особое внимание уделялось золоту осадочного происхождения [13]. Отмечается разубоживание поступающего в речную долину золотоносного материала сопутствующими незолотоносными минералами, входящими во вмещающие породы, и их гравитационное гидродинамическое обогащение русловым потоком, в результате наблюдается окатывание самородного золота, его дифференциация по крупности и перераспределение по долине.

Гидродинамические силы водного потока способны влиять на миграцию, разрушая рудообразующие минералы [15]. Гидродинамические силы водного потока способствуют измельчению и раскрытию минералов, в результате чего высвобождается содержащееся в них золото. Это свой-

ство положено в основу создания мельниц и разработки технологии рудного самоизмельчения. При образовании россыпей в природе действуют те же процессы дробления и концентрации в ходе физического, химического и биологического выветривания.

Таким образом, миграционная активность рассматривается в научной литературе достаточно обширно, предлагаются различные схемы миграции химических элементов, что важно для установления миграционных форм элементов. Зная их, есть возможность увеличить доизвлечение полезных компонентов, в том числе из скопившихся техногенных отходов, в которых накоплено большое количество благородных и редких металлов.

Для снижения антропогенной нагрузки на экосистемы необходимо перераспределять отходы горнорудной отрасли по технологическим параметрам, оставляя возможность для их дальнейшего доизвлечения в перспективе. Таким образом, созданием хвостохранилищ, отвалов, дамб необходимо управлять.

Нами предлагается флотоконцентрат, полученный после прохождения электрофлотационной колонны, направлять на переработку. Вторичные хвосты транспортировать в первую секцию двухсекционного хвостохранилища, где в процессе отстаивания минеральные частицы подвергаются доокислению действием естественных агентов и растворенным кислородом. При переливе во вторую секцию хвостохранилища жидкую фазу декантированной и окисленной пульпы с растворенными металлами подвергают электродиалитической обработке, в процессе которой металлы в форме катионов накапливаются на катионите и частично в катодной камере, а сернокислотный анолит — в анодной камере. Сернокислотный анолит предлагается использовать как активный выщелачивающий раствор для куч, а твердую, минеральную фазу пульпы из второй секции хвостохранилища, после выщелачивания из нее металлов и серы, использовать в качестве материала закладки на подземном

руднике, переводя в глубокие горизонты, не имеющие сообщения с поверхностными водами.

В результате управляемая трансформация минеральной массы в хвостохранилище приводит к получению воды технической прозрачности, и в зависимости от концентрации содержащихся в ней элементов рекомендуется использовать для оборотного водоснабжения или полива расте-

ний, используемых для фиторемедиации; целенаправленному доизвлечению компонентов до попадания в хвостохранилище, формированию в хвостохранилище зоны накопления элементов и за дамбой формированию зоны управляемой сорбции. Такое решение не только обеспечит возможность эффективной эксплуатации, но и позволит снизить негативную нагрузку на природные экосистемы.

Список литературы

1. Алехин Ю. В. Школа экологической геологии и рационального недропользования. СПб.: Недра, 2000. 158 с.
2. Воробьев А. Е. Решение проблемы воспроизводства минеральных ресурсов литосферы на основе использования биосфероулучшающих технологий // Вестник РУДН. Сер. Инженерные исследования. 2003. № 2. С. 140–148.
3. Дзапаров В. X. Обоснование природосберегающей технологии очистки стоков горного производства с целью снижения вредного воздействия на окружающую среду: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36. М., 2006. 19 с.
4. Ковлеков И. И. Техногенное золото Якутии. М.: Изд-во МГГУ, 2002. 303 с.
5. Колубаева Ю. В. Формы миграции химических элементов в водах Северной части Колывань-Томской складчатой зоны // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 1. С. 136–141.
6. Конеев Р. И., Халматов Р. А. Крупные золоторудные месторождения Узбекистана: минерально-геохимический стиль и закономерности формирования // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: материалы всерос. конф., посвященной 100-летию со дня рождения акад. Н. А. Шило. М.: ИГЕМ РАН, 2013. С. 43.
7. Коробейников А. Ф., Гусев А. И. Поведение золота в расплавах и особенности его фракционирования // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 1. С. 142–148.
8. Кузнецова И. В. Преобразование самородного золота в зоне гипергенеза // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: материалы всерос. конф., посвященной 100-летию со дня рождения акад. Н. А. Шило. М.: ИГЕМ РАН, 2013.
9. Кучеренко И. В. Проблемы образования гидротермальных месторождений золота // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325. № 1. С. 155–165.
10. Максимович Н. Г. Создание геохимических барьеров для улучшения экологической обстановки при разработке россыпных месторождений // Вестник Пермского университета. 2011. Вып. 4 (13). С. 97–105.
11. Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Алексеев В. С., Воробьев А. Е. Процессы формирования продуктивного пласта техногенных россыпей благородных металлов // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 4. С. 106–112.
12. Михайленко В. Н. Исследование характера загрязнения территории Забайкалья техногенными отходами горного производства // Неделя горняка. Семинар № 8. 2007. С. 151–154.
13. Нестеренко Г. В., Колпаков В. В., Бобошко Л. П. Самородное золото в осадочном цикле – заметки по проблеме в свете высказываний Ф. Н. Шахова // ИГМ СО РАН Новосибирск, 2014. № 3. С. 18–22.
14. Павленко Ю. В. Эколого-геологическая оценка территорий и объектов // Вестник Чит. гос. ун-та. 2010. № 1 (58). С. 33–38.
15. Перегудов В. В., Шаутенов М. Р. Золотоизвлекающие фабрики (ЗИФ) – динамические модели россыпеобразования // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: материалы всерос. конф., посвященной 100-летию со дня рождения акад. Н. А. Шило. М.: ИГЕМ РАН, 2013.
16. Прокофьева А. В., Гричук Д. В. Формы нахождения золота в эпitherмальных рудообразующих флюидах // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: материалы всерос. конф., посвященной 100-летию со дня рождения акад. Н. А. Шило. М.: ИГЕМ РАН, 2013.

17. Романов В. Г. Обоснование критериев различия пиритов осадочно-диагенетического и гидротермального генезиса // Вестник Чит. гос. ун-та. 2009. № 2 (53). С. 44–50.
18. Секисов А. Г. Геолого-технологическая оценка и новые геотехнологии освоения природного и техногенного золотосодержащего сырья Восточного Забайкалья. Чита: ЗабГУ, 2011. 312 с.
19. Секисов А. Г. Дисперсное золото. Чита: ЧитГУ, 2007. 269 с.
20. Секисов А. Г., Манзырев Д. В. Цикличность твердофазной и жидкофазной миграции и кластеризации золота в зонах ТМА // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: материалы всерос. конф., посвященной 100-летию со дня рождения акад. Н. А. Шило. М.: ИГЕМ РАН, 2013.
21. Толстов М. П. Физико-химические геотехнологии освоения месторождений урана и золота в Кызылкумском регионе. М.: Геоинформцентр, 2002. 277 с.
22. Шумилова Л. В., Резник Ю. Н. Комбинированные методы кюветного и кучного выщелачивания упорного золотосодержащего сырья на основе направленных фотоэлектрохимических воздействий. Чита: ЗабГУ, 2012. 406 с.
23. Щелканов Н. С., Овешников Ю. М., Субботин Ю. В. Рекультивация отвалов вскрышных пород на угольных разрезах Забайкальского края // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2012. № 11 (90). С. 28–33.
24. Arbutov S. I., Rikhvanov L. P., Maslov S. G. [et al.]. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform // Of Coal Geol., 2006. V. 68. P. 127–134.
25. Bortnikova S., Manstein Y. Acid mine drainage migration of Belovo zincplant (South Siberia, Russia): multidisciplinary study // Water Security in the Mediterranean Region, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer, 2011. P. 191–208.

List of literature

1. Alekhin Yu. V. *Shkola ekologicheskoy geologii i ratsionalnogo nedropolzovaniya*. (School of environmental Geology and rational use of the subsoil). St. Petersburg, 2000. 158 p.
2. Vorobyev A. E. *Vestnik RUDN* (Bulletin of the RUIF), 2003, no. 2, pp. 140–148.
3. Dzaparov V. H. *Obosnovanie prirodosbergajushhey tehnologii ochistki stokov gornogo proizvodstva s tseliyu snizheniya vrednogo vozdeystviya na okruzhayushhuyu sredu* (Substantiation of «green» technologies of wastewater treatment of mining production with the aim of reducing harmful effects on the environment). Moscow, 2006. 19 p.
4. Koulakov I. I. *Man-made gold of Yakutia* (Tehnogennoe zoloto Yakutii). Moscow, 2002. 303 p.
5. Kolubaeva Yu. V. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta* (Bulletin of the Tomsk Polytechnic University), 2013, no. 1, pp. 136–141.
6. Koneev R. I., Halmatov R. A. *Rudoobrazuyushhie protsessy: ot geneticheskikh kontseptsiy k prognozu i otkrytiyu novykh rudnykh provintsiy i mestorozhdeniy* (Ore-forming processes: from genetic concepts to the prediction and discovery of new ore provinces and deposits). Moscow, 2013.
7. Korobeynikov A. F., Gusev A. I. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta* (Bulletin of the Tomsk Polytechnic University), 2013, no. 1, pp. 142–148.
8. Kuznetsova I. V. *Rudoobrazuyushhie protsessy: ot geneticheskikh kontseptsiy k prognozu i otkrytiyu novykh rudnykh provintsiy i mestorozhdeniy* (Bulletin of the Tomsk Polytechnic University) (Transformation of native gold in the supergene zone of ore-forming processes). Moscow, 2013.
9. Kucherenko I. V. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta* (Bulletin of the Tomsk Polytechnic University), 2014, vol. 325, no. 1, pp. 155–165.
10. Maksimovich N. G. *Vestnik Permskogo universiteta* (Bulletin of Perm University), 2011, vol. 4 (13), pp. 97–105.
11. Mamaev Yu. A., Litvintsev V. S., Alekseev V. S., Vorobyev A. E. *Tihookeanskaya geologiya*. (Pacific Geology), 2012, vol. 31, no. 4, pp. 106–112.
12. Mikhaylenko V. N. *Nedelya gornyaka* (Miner's Week). Seminar no. 8, 2007, pp. 151–154.
13. Nesterenko G. V., Kolpakov V. V., Boboshko L. P. *Samorodnoe zoloto v osadochnom tsikle – zametki po probleme v svele vyskazyvaniy* (Native gold in the sedimentary cycle – notes on the issue in the light of statements of F. N. Shakhov). Novosibirsk, 2014, no. 3, pp. 18–22.
14. Pavlenko Yu. V. *Vestn. Chit. Gos. Univ.* (Chita State University Journal), 2010, no. 1 (58), pp. 33–38.
15. Peregodov V. V., Shautenov M. R. *Rudoobrazuyushhie protsessy* (Gold extraction). Moscow, 2013.
16. Prokofyeva A. V., Grichuk D. V. *Rudoobrazuyushhie protsessy: ot geneticheskikh kontseptsiy k prognozu i otkrytiyu novykh rudnykh provintsiy i mestorozhdeniy* (The ore-forming processes: from genetic concepts to the prediction and discovery of new ore provinces and deposits). Moscow, 2013.

17. Romanov V. G. *Vestn. Chit. Gos. Univ.* (Chita State University Journal), 2009, no. 2 (53), pp. 44–50.
18. Sekisov A. G. *Geologo-tehnologicheskaya otsenka i novye geotehnologii osvoeniya prirodnogo i tehnogennogo zolotosoderzhashhego syriya Vostochnogo Zabaykaliya* (Geological and technological evaluation of new Geotechnology and development of natural and technogenic gold-bearing raw materials in the Eastern Transbaikalia). Chita, 2011. 312 p.
19. Sekisov A. G. *Dispersnoe zoloto* (Dispersed gold). Chita, 2007. 269 p.
20. Sekisov A. G., Manzyrev D. V. *Rudoobrazujushhie protsessy: ot geneticheskikh kontseptsiy k prognozu i otkrytiyu novykh rudnykh provintsiy i mestorozhdeniy* (Ore-forming processes: from genetic concepts to the prediction and discovery of new ore provinces and deposits). Moscow, 2013.
21. Tolstov M. P. *Fiziko-himicheskie geotehnologii osvoeniya mestorozhdeniy urana i zolota v Kyzylkumskom regione* (Physic-chemical Geotechnology of uranium and gold deposits development in the Kyzylkum region). Moscow, 2002. 277 p.
22. Shumilova L. V., Reznik U. N. *Pererabotka zolotosoderzhashhih rud i tehnogennykh othodov metodom kuchnogo i kyuvetnogo vyshhelachivaniya* (Processing of gold-bearing ores and industrial wastes by heap and ditch leaching). Chita, 2012. 406 p.
23. Shhelkanov N. S., Oveshnikov Yu. M., Subbotin Yu. V. *Vestn. Zab. Gos. Univ.* (Transbaikal State University Journal), 2012, no. 11 (90), pp. 28–33.
24. Arbuzov S. I., Rikhvanov L. P., Maslov S. G. [et al.]. *Of Coal Geol.* (Of Coal Geol.), 2006, vol. 68, pp. 127–134.
25. Bortnikova S., Manstein Y. *Acid mine drainage migration of Belovo zinplant (South Siberia, Russia): multidisciplinary study* (Acid mine drainage migration of Belovo zinplant (South Siberia, Russia): multidisciplinary study): Water Security in the Mediterranean Region, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer, 2011, pp. 191–208.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Филиппова Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: экологозащитные технологии
filena78@mail.ru

Elena Filippova, candidate of technical sciences, assistant professor, Transbaikal State University, Russia. Sphere of scientific interests: environmental protection technology

Образец цитирования

Филиппова Е. В. Анализ механизмов миграционной активности золота и сопутствующих элементов при разработке геотехнологии // *Вестн. Забайкал. гос. ун-та*. 2016. Т. 22. № 11. С. 42–51.
DOI: 10.21209/2227-9245-2016-22-11-42-51

