

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 553.048-068.5+622.271.4.5

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАПАСОВ ДРАЖНЫХ ПОЛИГОНОВ

В. И. Снетков, Б. Л. Тальгамер

*Иркутский государственный технический университет,
ул. Лермонтова, 83, 664074, г. Иркутск, Россия*

Выполнен краткий аналитический обзор состояния сырьевой базы техногенных россыпей, российского опыта их разведки и повторной переработки. Предложен и протестирован в условиях алмазоносных техногенных россыпей новый методический подход по оценке и подсчету техногенных запасов для повторной и последующих стадий переработки.

Золото, алмазы, россыпь, пески, драга, техногенные запасы, разведка, переработка

Доля россыпного золота как в мире, так и в России ежегодно уменьшается. Если в середине XIX в. в мире (без России) добывалось около 90 % золота из россыпей, то к концу того же века уже менее половины, в первой четверти XX в. — 15–20 %, в последней — 10–15 %, в настоящее время — всего несколько процентов. До революции (1917 г.) в России из россыпей добывалось 85 % золота, в 60-х годах прошлого столетия — 70–80 % (по объединению “Союззолото”), в 90-х годах — 72 %, в начале 2000-х гг. — менее 60 %. Вместе с тем в ближайшее десятилетие доля добычи россыпного золота в стране еще будет преобладать, и в значительной степени это будет связано с вовлечением в эксплуатацию техногенных россыпей [1–3].

Техногенные отложения, образованные в результате разработки россыпей и имеющие достаточно высокое содержание полезных компонентов, только в Сибири занимают площади в сотни тысяч гектаров. В техногенных россыпях сосредоточены большие запасы золота, которые по основным регионам золотодобычи составляют от нескольких сотен тонн (Забайкальский, Красноярский, Хабаровский, Приморский края, Амурская и Иркутская области [4]), до тысяч тонн (Магаданская область). Общее количество золота в техногенных россыпях оценивается в 3.3–5.0 тыс. т [5], а его запасы составляют не менее 18 % от общих запасов этого металла в россыпных месторождениях [6]. При разработке техногенных россыпей действующими предприятиями запасов достаточно для работы, по разным оценкам, в течение 15–70 лет [7].

Основные объемы техногенных отложений, образованных при разработке россыпей в РФ, представлены дражными отвалами. Во второй половине XX в. драгами в стране перерабатывалось 60–75 % песков, поэтому основные техногенные запасы россыпей большей частью являются продуктом дражной разработки. По оценке специалистов [1, 2] в общем балансе техногенных россыпей основную долю (60–80 %) составляют дражные полигоны.

Только в Хабаровском крае насчитывается более тысячи золотоносных россыпей. Значение техногенных запасов постоянно возрастает из-за сокращения сырьевой базы предприятий, разрабатывающих россыпи, ухудшения горнотехнических условий залегания оставшихся целиковых запасов, а также повышения требований природоохранительных органов.

К настоящему времени накоплен достаточно большой положительный опыт повторной разработки дражных полигонов. Некоторые примеры повторной разработки россыпных месторождений показали, что экономическая эффективность работ на техногенных запасах сопоставима с разработкой целиковых объектов с лучшим качеством сырья.

Результаты эксплуатации техногенных отложений довольно стабильны. При повторной дражной разработке алмазоносных россыпей в течение семи лет добывалось в среднем 40–50 % от первоначально добытого количества полезных компонентов. При разработке дражных отвалов двумя драгами в Забайкалье добывалось 34–60 % золота от первоначально добытого [3]. Среднее извлеченное содержание золота при отработке дражных отвалов в Ленском золотоносном районе составило 45 %.

Из опыта эксплуатации техногенных россыпей горными предприятиями следует, что себестоимость добычи металла в этом случае значительно меньше (иногда в 5 раз [4]) по сравнению с освоением целиковых запасов. Последнее связано с резким сокращением объемов горноподготовительных и гидротехнических работ, а также улучшением промывистости полезного ископаемого.

Вместе с тем имеется и негативный опыт вовлечения в эксплуатацию техногенных россыпей, что вызвано в большинстве случаев слабой изученностью оставшихся запасов, отсутствием анализа первичного опыта разработки песков и использованием традиционной технологии добычи и промывки полезного ископаемого.

Наиболее эффективной оказалась повторная разработка глинистых россыпей на Урале и в Якутии. Это обусловлено, в первую очередь, низкой промывистостью продуктивных отложений, из-за которой значительная доля (иногда до 50 %) неразмытых глинистых песков попадала в галечные отвалы. После многолетней вылежки неразмытые глинистые куски (окатыши) под воздействием выветривания разрушались, ценные компоненты высвобождались и в последующем извлекались при повторном драгировании с использованием того же обогащательного оборудования.

Повторная дражная разработка россыпей на промывистых отложениях не дает должного эффекта, так как при том же обогащательном оборудовании из хвостов извлекается 5–10 % золота от первоначального уровня добычи (на глинистых россыпях извлечение достигает 30 % [4]). При отсутствии на таких россыпях значительных эксплуатационных потерь песков, прежде всего в недоработанном плотике и оставленных целиках, повторное драгирование малоэффективно. Целесообразность переработки галеефельных отвалов на промывистых отложениях может иметь место при значительном содержании в песках минералов тяжелых фракций, самородков, а также при наличии большого количества в россыпи мелкого и тонкого золота, которое может быть извлечено при совершенствовании обогащательного оборудования, внедрении технологии кучного выщелачивания. Особенностью алмазоносных россыпей является увеличенный выход крупных классов алмазов при повторной разработке с одновременным снижением выхода классов –4 + 1 мм.

Таким образом, эффективность вовлечения в эксплуатацию техногенных россыпей в первую очередь обусловлена точностью подсчета оставшихся в недрах запасов и наличием информации о распределении полезных компонентов во вновь сформированных отложениях.

В России проблема оценки запасов техногенных россыпей в стране возникла еще в середине прошлого века, когда на Северо-Востоке стали вовлекать в эксплуатацию отвалы, образованные в довоенное и военное время.

Принципиальным вопросом до начала переработки дражных отвалов является достоверность оценки остаточных запасов полезного ископаемого. На первый взгляд, ответ прост: балансовые запасы минус добытое полезное ископаемое плюс потери. Опыт же отработки целиковых россыпей и дражных отвалов показывает, что все обстоит гораздо сложнее.

Во-первых, практически для всех россыпей характерен эффект недоразведанности, выражающийся в существовании так называемого “коэффициента намыва”, т. е. добыча полезного ископаемого по первому ходу драги даже с учетом эксплуатационных потерь, как правило, превышает запасы, стоящие на балансе предприятия. Похожая картина может повторяться и в последующей переработке дражных отвалов.

Во-вторых, невозможно осуществить постоянный мониторинг потерь, возникающих при добыче и обогащении песков, поскольку эксплуатационные потери (межшаговые, межходовые целики, в бортах при развороте драг, от просыпи в рамный прорез, недоработка по глубине и др.) определяются по данным маркшейдерских замеров через определенный календарный период, а технологические потери при обогащении оцениваются по данным лабораторных или полупромышленных испытаний и рассчитываются для некоторых средних условий. Фактически промывистость песков на разных участках россыпей разная, поэтому технологические потери могут существенно отличаться от проектных.

В-третьих, на извлечение полезного ископаемого из недр влияет сезонность работы драг. В весенний и осенний периоды значительно ухудшается дезинтеграция добываемых песков, а также качество отработки приплотиковой части запасов вследствие неполной оттайки пород.

В-четвертых, в процессе переработки промытые пески веерообразно перемещаются драгой до 60 м, а иногда и до 120 м в сторону, противоположную ходу драг, что с учетом сложной траектории ходов делает невозможным точное сопоставление по блокам остаточных запасов с исходными.

В соответствии с “Методическими указаниями по применению классификации запасов...” разведку отвалов, образовавшихся в результате первичной переработки россыпей, “...наиболее целесообразно проводить траншеями или дражными ходами при валовом опробовании. Повторную разведку дражных полигонов можно проводить также шурфами или скважинами по прямоугольной или квадратной сети, учитывая, что первоначальное строение россыпи в процессе разработки было полностью нарушено” [1]. В полной мере это требование выполнить довольно трудно по нескольким причинам.

Первая — высокая стоимость разведочных работ по отношению к ожидаемой рыночной стоимости остаточных запасов, что с учетом эксплуатационных и иных затрат делает нерентабельной их повторную переработку.

Вторая причина — технические сложности проходки разведочных выработок в условиях затопления дражных полигонов, высокой обводненности песков, сложных климатических условий, высокой сыпучести промытых пород, большого притока воды в разведочные выработки, сильной расчлененности и резких форм рельефа, мозаичного распределения глинистых отложений, участков с различной полнотой выемки песков по их мощности.

И третья — нет никакой уверенности в репрезентативности разведочных данных, поскольку структура галезфельных отложений и распределение полезного компонента после переработки целиковой россыпи становятся столь сложными, что требуют разработки особой методики разведки и опробования.

Таким образом, дорогостоящие результаты повторной разведки россыпи при их низкой достоверности не могут способствовать распространению рассматриваемого метода разведки и дальнейшей оценки запасов техногенных россыпей.

В качестве примера можно привести результаты повторной разведки одной из техногенных россыпей Западной Якутии.

В осенне-зимний период 1967/68 г. сделаны попытки провести геологоразведочные работы при помощи линий шурфов в отработанных блоках с 1-А по 7-А. Было пройдено 27 шурфов по 6 разведочным линиям по сети $120-280 \times 70-190$ м, сечением 3.0 м^2 на проморозку и “пожог”. Специфика дражных отвалов не позволила пройти большую часть шурфов на полную мощность отвалов. Средняя глубина шурфов составила 3.48 м, в том числе по галечному материалу — 1.48 м, по эфелям — 2.0 м. Было отобрано 50 проб из требующихся 200–250: 25 — по галечникам, 25 — по эфелям.

Основные причины, не позволившие выполнить в полной мере разведочные работы, следующие:

— дражные полигоны находятся в зонах подтопления и интенсивной фильтрации вод, поэтому выполнение разведочных работ возможно только в зимнее время. При проходке горных выработок по рыхлым галеефельным отвалам очень сложно вести проморозку и водоотлив;

— сыпучесть грунтов и фильтрация воды требуют нестандартного крепления горных выработок;

— строение отвалов таково, что центр отвала содержит полезный компонент в промышленных концентрациях, а крайние части бедны. Пространство между отвалами (вдоль границы ходов драг) заилено материалом -0.5 мм и не содержит значимых концентраций полезного компонента;

— границы галеефельного отвала, содержащего материал $-32 + 0.5$ мм, без значительного увеличения плотности сети не только вкрест простирания, но и по простиранию россыпи (из-за продольного и поперечного смещения песков при их переработке) невозможно четко оконтурить.

Траншейный способ разведки также сопряжен с немалыми трудностями. Например, на Туульском дражном полигоне (Монголия) из-за сложных горнотехнических условий выемка горной массы из заверочных траншей осуществлялась из-под воды экскаватором с емкостью ковша 1.2 м^3 без разделения на секционные валовые пробы, с дополнительной откачкой дренажных вод насосом и промывкой горной массы промприбором. Большой водоприток не позволил пройти траншеи на всю мощность рыхлых отложений.

В итоге в большинстве случаев попытки осуществить подсчет техногенных запасов, применяя традиционные методы разведочных работ с проходкой скважин и шурфов, оказались неудачными. Этот подход к оценке остаточных запасов был, с одной стороны, очень долговременным и трудоемким, а с другой — из-за специфических условий формирования техногенных отложений не всегда давал достоверные результаты.

В связи с отмеченными техническими и экономическими трудностями постановки разведочных работ на техногенных россыпях, разными специалистами неоднократно делались попытки подсчета или оценки их запасов косвенными способами, в том числе с использованием результатов наблюдений за потерями песков при добыче и полезных компонентов при обогащении в процессе первичной разработки запасов.

Метод аналогий стали применять при укрупненных прогнозных оценках техногенных запасов [8]. Однако получаемые результаты при этом “являются крайне приближенными” и не могут “служить основанием для повторной обработки” [9].

При наличии результатов частичной повторной разработки россыпи предложен метод подсчета запасов на основе вычисления коэффициента повторного извлечения полезных компонентов [10]. Этот метод учитывает извлекаемую часть технологических потерь, но не учитывает эксплуатационные потери в массиве.

Более обоснованная оценка запасов техногенных россыпей выполняется на основе разности между вероятными и извлеченными запасами полезного компонента целиковой россыпи [11]. Позднее данный метод получил развитие и неоднократно совершенствовался.

Исследования специалистов ИРГИРЕДМЕТа, выполненные в 1968–70 гг. при оценке “остаточных” запасов золота техногенной россыпи Ундинского прииска комбината “Балейзолото”, основывались на составлении баланса выявления и использования запасов. Для этого был предложен поправочный коэффициент к результатам разведки

$$K_p = \frac{K_n}{K_n^B K_d K_i},$$

где K_n — коэффициент намыва; K_n^B — коэффициент выемки песков из недр; K_d — коэффициент доставки песков на промывку; K_i — коэффициент извлечения полезного компонента из доставленных на промывку песков.

В общем, при неплохой исходной теоретической позиции пришлось сделать ряд упрощений в связи с трудностью определения коэффициента намыва по участкам наиболее полной выемки песков по мощности (определяется отдельно при расчете коэффициента K_n^B), и в конечном виде использована для подсчета остаточных запасов следующая формула:

$$K_p = \frac{K_n}{K_d K_i}.$$

При этом отмечено, что величина K_p несколько занижена вследствие допущенных упрощений.

Коэффициент извлечения определялся по формуле

$$K_i = 1 - K_{n2/n1},$$

где $K_{n2/n1}$ — коэффициент, учитывающий отношение вторичного намыва к первичному.

Рассмотренный методический подход применен при оценке техногенных запасов золотосодержащей россыпи, однако апробацию в ГКЗ не прошел. Позднее такой же подход использован для оценки запасов на участке алмазоносной россыпи в Якутии [12].

Несколько иной, но похожий подход предложен коллективом авторов ИРГИРЕДМЕТа, и даже выпущены временные методические указания по оценке запасов техногенных россыпей золота дражных полигонов, которые в 1988 г. утверждены в Главалмазолото СССР. Основопологающие пункты методики включали: нахождение поправочного коэффициента к данным разведки, учет всех оставленных целиков, недобор по мощности, технологические потери при добыче и обогащении. В методику оценки вошли практически все геологические, горнотехнические и технологические показатели, которые не всегда можно было получить в полном объеме, учитывая влияние фактора времени на полноту сохранности документации, что неизбежно приводило к необходимости упрощений и допущений, не способствующих обеспечению точности конечного результата — количества запасов.

Другой метод, прошедший апробацию при оценке прогнозных ресурсов техногенных месторождений Хабаровского края, заключается в анализе “потерь при разведке природной россыпи и потерь при ее разработке на основе учета разведанного и добытого золота, а также гра-

нулометрического состава золота и вмещающих пород...» [13]. По мнению автора публикации, такой подход позволяет произвести первичную инвентаризацию россыпных объектов и выделить наиболее перспективные для отработки или опытной переработки запасов.

Формула для расчета прогнозных ресурсов Q_T техногенной россыпи имеет вид

$$Q_T = Q_p (K_n + K_{п} + K_{мф}) - Q_d,$$

где Q_p — запасы природной россыпи в отработанном блоке по данным разведки; K_n — коэффициент потерь золота в результате несовершенства методов разведки и опробования; $K_{мф}$ — коэффициент содержания в россыпях мелкой фракции золота менее 0.1 мм (обычно теряемой вследствие применяемых малоэффективных технологий извлечения в прежние годы); Q_d — добыча золота из отработанного блока.

Отдельного обсуждения заслуживают проблемы переработки техногенных алмазоносных россыпей, характеризующихся крайне неравномерным, близким к гнездовому, распределением кристаллов. В этом плане весьма интересен накопленный опыт в АК «АЛРОСА» двухкратной отработки техногенных дражных отвалов, а также опыт подсчета запасов и экспериментальной переработки техногенных россыпей в третий раз.

Исследования показали, что объемы проб, отобранных из шурфов, не обеспечивают представительность всего гранулометрического спектра алмазов, особенно в верхних классах, что неизменно приводит к занижению средних содержаний на стадии разведочных работ [14, 15] и появлению коэффициента намыва при переработке дражных отвалов, который используется для пересчета запасов от стадии к стадии переработки.

Поскольку осуществить проходку скважин, шурфов в дражных отвалах до их полного пересечения не удастся в связи со значительными техническими трудностям, то, как рекомендует ГКЗ, необходима проверка полученных результатов большеобъемными пробами. Если учитывать средний спектр крупности алмазов (по методике ИРГИРЕДМЕТа), то минимальный объем пробы должен составлять 25 260 м³. Подобные объемы под силу только драге, которая при месячной производительности 100 тыс. м³ горной массы может наработать 4 такие пробы. Поэтому доразведку техногенных россыпей рекомендуется осуществлять ходами драг с дальнейшим поблочным сопоставлением разведанных и добытых запасов в зависимости от кратности переработки россыпей.

В рассматриваемом далее примере расчет коэффициента отхода содержания алмазов K_c в россыпи по результатам последовательных отработок отвалов в разные периоды базируется на весьма представительных материалах отработок 9 блоков вторым и третьим ходами драги (таблица). Представительность информации характеризуется значительным объемом переработанной горной массы (песков), равной 4.529 млн м³. Запасы песков в подсчете приняты по результатам геолого-маркшейдерского учета фактически переработанных участков россыпи по данным декадных, месячных, годовых, блочных замеров.

Внешний контур запасов практически полностью повторяет контур предыдущей дражной отработки. Нижняя граница галеефельных отвалов определена плотиком россыпи. Отработка ведется с задиркой плотика не менее 0.2 м. Внутренние контуры блоков соответствуют контурам геологических блоков, проведенным по разведочным линиям.

Полученный по итогам расчетов коэффициент отхода содержания алмазов K_c , полученный как отношение концентрации алмазов в процессе отработки этих блоков третьим ходом, к содержанию по второму ходу, равный 0.24, не учитывает эксплуатационные и технологические

потери и его введение приведет к занижению содержаний в геологических запасах. Поэтому для расчета среднего содержания в недрах должна быть введена поправка на потери алмазов в процессе добычи.

Определение коэффициентов K_c при разработке дражных отвалов

Номер блока и категория запасов	Второй ход				Экспериментальный третий ход			
	Площадь блоков, тыс. м ²	Объем песков, тыс. м ³	Среднее содержание алмазов, усл. ед.	Запас алмазов, усл. ед.	Объем песков, тыс. м ³	Среднее содержание алмазов, усл. ед.	Запас алмазов, усл. ед.	K_c по переработке
1 С2	255.4	384.8	4.70	1808	3 53.9	1.4	505	0.30
2 С2	139.3	522	4.67	2436	547.5	0.9	488	0.19
3 С2	263.9	907.5	3.78	3437	896.3	0.9	788	0.24
4 С2	146.6	552.2	3.17	1748	1022.7	0.7	697	0.22
5 С2	190.9	720.4	2.52	1816	827.5	0.5	402	0.20
6 С2	149.9	589.7	2.64	1557	692.6	0.3	234	0.12
7 С2	7.6	34.7	1.88	65	27.4	1.45	40	0.79
8 С2	16.1	143.4	2.24	321	153.2	1.49	229	0.68
9 С2	1.9	7.9	2.63	21	8.3	1.78	15	0.67
Итого	1171.6	3862.6	3.42	13209	4529.4	080	3398	0.24

Для расчета геологических запасов поправочный коэффициент должен учитывать извлечение драгой алмазов:

$$K_p = K_c / K_{и}.$$

При извлечении на драге 80 % и суммарного коэффициента потерь 1.7 % сквозное извлечение составит $K_{и} = 80 \cdot 0.983 = 78.6$ %. С учетом данного извлечения понижающий коэффициент для подсчета геологических запасов алмазов в отвалах драги после второго ее хода будет равен

$$K_p = 0.24 / 0.786 = 0.30.$$

Итак, чтобы подсчитать среднее содержание алмазов в блоке, предназначенном для отработки третьим ходом драги, достаточно умножить среднее содержание в оцениваемом блоке, полученное по результатам его отработки вторым ходом, на полученный коэффициент. Объем горной массы (песков) в конкретных блоках определяется по данным маркшейдерских замеров с учетом разубоживания, в том числе происходящего при задирке плотика россыпи. Запасы алмазов получают простым умножением объемов песков на полученное среднее содержание.

Этот методический подход и коэффициент представлен разработчиками ТЭО (ИрГТУ) и впервые утвержден ГКЗ РФ (пока в порядке исключения) в качестве одного из основных параметров, необходимых для подсчета запасов в дражных отвалах алмазоносной россыпи.

Практика одно- и двукратной переработки техногенных отложений показала, что оценка запасов алмазов в дражных отвалах косвенным методом [12] достаточно достоверна и менее затратна, а ее надежность подтверждается многолетним опытом, результатами большого числа экспериментов и может быть рекомендована для применения на золотоносных россыпях. Таким образом, этот подход позволяет не только быстро, но и точно устанавливать запасы техногенных россыпей, а следовательно, ускорить процесс их вовлечения в эксплуатацию.

ВЫВОДЫ

Предложенный методический подход имеет следующие неоспоримые преимущества перед ранее рассмотренными способами оценки или подсчета запасов в техногенных россыпях:

- простота и более высокая достоверность подсчета запасов, планируемых к отработке;
- исключение непроизводительных затрат на оценку дражных отвалов традиционными способами ведения разведочных работ (скважины, шурфы, траншеи);
- возможность разведки техногенных отвалов драгами, позволяющая совмещать оценку запасов с добычей полезного ископаемого и существенно снижать нагрузку на экономику горнодобывающего предприятия в условиях низкого содержания полезного компонента в техногенных отложениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ван-Ван-Е А. П. Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений. — М.: Изд-во МГГУ, 2010.
2. Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П. Техногенные россыпи благородных металлов Дальневосточного региона России и их рациональное освоение. — М.: Изд-во МГГУ, 2010.
3. Овешников Ю. М., Большаков А. И. Некоторые результаты исследований по полноте отработки россыпных месторождений драгами // Разработка россыпных месторождений. — М.: Изд-во МГРИ, 1987.
4. Мамаев Ю. А., Ван-Ван-Е А. П., Сорокин А. П., Литвинцев В. С., Пуляевский А. М. Проблемы рационального освоения золотороссыпных месторождений Дальнего Востока (геология, добыча, переработка). — Владивосток: Дальнаука, 2002.
5. Белов С. В. Техногенные месторождения золота: состояние и перспективы освоения // Золотодобывающая пром-сть. — 2011. — № 4.
6. Ковлеков И. И. Техногенное золото Якутии. — М.: Изд-во МГГУ, 2002.
7. Ярошенко О. Н. Возможные направления развития техники и технологии добычи золота из техногенных россыпей // Колыма. — 2003. — № 3.
8. Васильева Э. А., Пацев И. И. Проектирование добычи золота из дражных отвалов // Исследования по проблемам геодезии и картографии. — Иркутск: ИГУ и ИП, 1973.
9. Ван-Ван-Е А. П. Методика аналитической оценки ресурсной базы техногенных золотоносных месторождений Дальнего Востока // Проблемы освоения техногенного комплекса месторождений золота: материалы конф. — Магадан, 2010.
10. Ван-Ван-Е А. П. Прогнозные ресурсы золота техногенных месторождений Хабаровского края // ГИАБ. — 2009. — № 12.
11. Мамаев Ю. А., Шевелева Е. А., Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П. Методика экспертной оценки запасов техногенных россыпей по косвенным признакам // Колыма. — 1995. — № 11, 12.
12. Тальгамер Б. Л., Чемезов В. В., Неретин А. В., Дементьев С. А. Оценка потерь алмазов при дражной разработке россыпей // Проблемы развития минеральной базы Восточной Сибири: сб. науч. тр. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003.
13. Вилесов Г. И., Медовщикова Н. А. Геометризация и подсчет запасов золота в дражных отвалах // Горн. журн. — 1958. — № 1.
14. Снетков В. И. Гнездообразное распределение алмазов в россыпи – основная причина неподтверждения запасов // ГИАБ. — 2005. — № 8. — Деп. в МГГУ 05.04.05, № 409/08-05.
15. Снетков В. И., Тальгамер Б. Л., Дементьев С. А. Анализ причин систематического расхождения запасов по результатам разведки и отработки алмазоносных россыпей // Маркшейдерский вестн. — 2005. — № 3.

Поступила в редакцию 30/IX 2013