

УДК 621.396.96:622.342 (571.56)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА ЯКУТИИ

Федорова Л.Л., Куляндин Г.А.

ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» СО РАН, Якутск,
e-mail: lar-fed-90@rambler.ru, kgavrilu@yandex.ru

Для эффективного промышленного освоения месторождений требуется повышение информативности эксплуатационной разведки. В последние годы в комплекс методов, используемых для получения полной и достоверной информации о строении и свойствах массива горных пород разрабатываемого месторождения, включают дистанционные методы высокочастотной электроработки, в частности метод георадиолокации. В статье представлены примеры использования метода георадиолокации на территории распространения многолетнемерзлых пород для детализации структуры россыпных месторождений. Экспериментальные георадиолокационные зондирования выполнены на дражных полигонах двух месторождений золота Якутии (р. Аллах-Юнь и р. Б. Куранах). По месторождению р. Аллах-Юнь в качестве примера рассмотрен поперечный георадиолокационный разрез дражного полигона. По результатам площадных исследований отмечено, что возможно выделение зон поднятия плотика, которые могут повлиять на ход драги, а также участков западения плотика, имеющих повышенную концентрацию полезного ископаемого. Методические исследования изменения характеристик георадиолокационных сигналов проведены с водной поверхности на дражном полигоне месторождения р. Б. Куранах. По полученным данным построена трехмерная модель дражного котлована, определен контур отработки и выход скальных пород. Определены геометрические параметры котлована на момент проведения исследований: глубина отработки – 1,5–13,5 м; скальный выход обнаружен на глубинах до 7,5 м. Результаты работ показали, что метод георадиолокации может найти широкое применение при решении задач изучения морфоструктурных особенностей месторождений. Такие достоинства метода, как: дистанционность и оперативность получения данных, в дальнейшем могут способствовать оптимизации технологии и повышению эффективности разработки месторождений.

Ключевые слова: россыпные месторождения золота, криолитозона, дражный полигон, георадиолокация, строение горного массива

EXPERIENCE IN APPLYING THE GPR METHOD IN THE EXPLORATION OF PLACER GOLD DEPOSITS OF YAKUTIA

Fedorova L.L., Kulyandin G.A.

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: lar-fed-90@rambler.ru, kgavrilu@yandex.ru

Efficient commercial development of deposits requires increasing the amount and value of information obtained by operational exploration. Since recently, the set of methods for obtaining complete and reliable information on the structure and properties of the rock mass in active deposits includes the techniques of remote high-frequency electrical exploration, such as ground penetrating radar. The article provides examples of the GPR method application in the areas of permafrost formation for detailing the structure of gold-bearing placers. The experimental GPR sounding was performed at the dredging polygons of two gold deposits in Yakutia (the Allakh-Yun and B.Kuranakh rivers). In the Allakh-Yun deposit, we used the transverse GPR section of the dredging site as an example. The areal study showed the possibility of the placer bedrock elevation that can affect the dredger motion and the placer bedrock depression areas with a higher gold concentration. The methodological study of the change in the characteristics of the GPR signal was performed on the water surface at the dredging site of the B.Kuranakh gold field. The obtained data were used to build a 3D model of the dredging pit and determine the mining outline and the primary rock location. The geometric parameters of the pit determined at the time of the investigation were as follows: the mining depth was 1.5–13.5 m, the rock outcrop was detected at the depth of up to 7.5 m. The research results have shown that the GPR method can be widely used in studying the deposit morphostructural peculiarities. The method's advantages, such as remote sensing and quick results, can help further optimize the technology and improve the deposit development efficiency.

Keywords: placer gold deposits, permafrost, dredge site, GPR, the structure of the rock

К основным факторам, определяющим целесообразность и возможности промышленного освоения недр, относятся горно-геологические условия разработки месторождений. Из них, на стадии эксплуатационных работ, наиболее значимыми являются пространственно-морфологические показатели, которые освещают условия залегания, формы и внутреннее строение месторожде-

ний полезных ископаемых. Эти показатели в значительной степени обуславливают выбор схемы и способа вскрытия и подготовки к очистной выемке, определяют параметры систем разработки и производственных процессов, безопасное ведение горных работ.

Для повышения эффективности добычных работ требуется увеличение информативности эксплуатационной разведки.

В последние годы в комплекс методов, используемых для детализации горно-геологических условий разрабатываемого месторождения, включают методы высокочастотной электроразведки. В условиях распространения многолетнемерзлых пород наиболее эффективным из них для исследований верхней части геологического разреза является метод георадиолокации [1–3]. Достоинствами этого метода являются высокая производительность и разрешающая способность, возможность работы в любых условиях. Тем не менее даже сейчас приходится констатировать, что значительные возможности метода георадиолокации на практике реализуются не полностью. Изменчивость свойств и состояния массива пород при ведении горных работ на территории распространения многолетнемерзлых пород требуют активных научно-методических исследований по адаптации и совершенствованию георадиолокационной технологии для оперативного и детального изучения горно-геологических условий разрабатываемых месторождений криолитозоны [4, 5].

Материалы и методы исследования

Георадиолокация – это современный метод электроразведки, в основе которого лежит свойство электромагнитных волн отражаться от границ раздела сред с различными электрофизическими свойствами. Технически реализуется путем периодического излучения сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн с последующим приемом и регистрацией отраженных от границ сигналов. Параметры отраженных сигналов зависят от электрофизических свойств зондируемых сред, дальности, формы, размеров и контрастности диэлектрических свойств отражающих объектов. Низкая электропроводность мерзлых пород способствует пониженному затуханию георадиолокационных сигналов и, как следствие, повышению глубинности исследований [6]. А существенные различия электрофизических свойств талых и мерзлых пород обеспечивают эффективность георадиолокации при эксплуатационной разведке в криолитозоне для решения задач выявления и пространственной локализации зон обводнения горных пород, участков подземных льдов, определения параметров слоя надмерзлотных вод и т.д.

В данной статье рассматриваются возможности метода георадиолокации при изучении строения и свойств массива гор-

ных пород в условиях дражной разработки месторождений криолитозоны. Экспериментальные георадиолокационные исследования проведены на участках месторождений р. Большой Куранах и р. Аллах-Юнь. На этих крупных золотоносных россыпных месторождениях Якутии применяется дражный способ разработки, который отличается высокой производительностью, законченностью цикла работ и поточностью технологии [7, 8]. Минерализация воды котлованов дражных полигонов невысокая: 30–500 мг/л. В таких условиях при использовании георадаров с центральной частотой от 100 МГц и ниже можно достичь глубины исследований до 10 м [9].

Анализ георадиолокационных разрезов массива горных пород дражного полигона показывает, что наличие воды и зон обводнения пород значительно влияет на результаты георадиолокации. Так, при зондировании с поверхности котлована или при пересечении водных объектов, из-за замедления скорости распространения радиоволн в воде, намного увеличивается время задержки сигналов от границ подповерхностных слоев, что приводит к искаженному восприятию волновой картины. При обработке таких данных необходимо применение специализированных процедур пересчета скоростей по слоям, с учетом влияния рельефа по профилю и GPS-координатной привязки точек измерений [10].

Дальнейшее совершенствование георадиолокационного метода и расширение области его применения связано с развитием программных средств обработки, разработкой критериев распознавания и интерпретации данных, основанных на применении методов статистического и частотно-временного анализа [11]. Исследования закономерностей изменения характеристик георадиолокационных сигналов, полученных при зондировании дражных полигонов, показали, что оси синфазности сигналов на участках нарушенности массива горных пород имеют прерывистый (хаотичный) характер. Подобное изменение сигналов приводит к увеличению такой статистической характеристики, как дисперсия, которая показывает отклонение энергии сигналов от среднего значения.

В работе [12] показано, что расчет значений дисперсии амплитуд сигналов, в качестве поискового критерия зон нарушенности мерзлого горного массива, позволяет картировать контур россыпи и ее структурные особенности.

Результаты исследования и их обсуждение

Полевые георадиолокационные исследования по изучению рельефа плотика выполнены на россыпном месторождении золота р. Аллах-Юнь. Мощность рыхлых отложений на месторождении небольшая (торф – 2,7–10 м, пески – 0,4–5,2 м) и доступна для зондирования георадаром. Присутствие валунов (20–30 см, местами до 50 см) предполагает возможность регистрации гиперболических волн на волновой картине, что в последующем позволит более точно выставить масштаб глубин [13].

Для исследований выбран подготовленный к дражной отработке участок. Запланированные по нему профили расчищены от снега бульдозерной техникой. Измерения проведены георадаром «ОКО-2М» (АБДЛ-50), весной, в период максимального промерзания горных пород [9]. В дальнейшем, для геологической привязки данных георадиолокации по одному из профилей пробурена скважина.

В качестве иллюстрации данных георадиолокации с участка исследований на рис. 1 приведена волновая картина по поперечному профилю дражного полигона. Данные георадиолокации подверглись послойной обработке в соответствии с результатами бурения. Границы слоев: лед, пески, коренные породы, незамерзшая вода – четко прослежены по осям синфазности на протяжении всего разреза.

При анализе рельефа плотика, построенного по результатам георадиолокационного картирования и заверенного бурением (рис. 2), просматриваются участки его западения, где возможно повышенное содержание полезного ископаемого. Также,

полученные данные могут способствовать планированию хода драги. Например, по исследуемому дражному полигону выявлены две зоны поднятия плотика до глубин 3–3,5 м. При низком уровне воды они могут стать препятствием для перемещения драги.

Методические исследования изменения характеристик георадиолокационных сигналов, полученных при изучении морфологических особенностей строения массива горных пород, выполнены с водной поверхности дражного полигона месторождения р. Б. Куранах. Мощность песков на месторождении изменчива и в зависимости от участка составляет от 46–52 м до 10–15 м. Местами имеются включения крупных фракций в виде валунов [14].

На момент проведения георадиолокационных измерений участок обрабатывался роторным земснарядом. Данные получены с поверхности воды георадаром «ОКО-2М» (АБДЛ-50). Из 20 профилей – 19 поперечных, протяженностью 60–200 м, и 1 продольный, длиной 675 м. В центре дражного котлована, ближе к левому борту, на поверхности воды присутствовал скальный выход, не позволивший охватить георадиолокацией всю площадь водоема.

На рис. 3 представлен георадиолокационный разрез, на котором выявлен выход скальных пород на дражном котловане. Интерпретация волновой картины выполнена на основе сравнительного анализа георадиолокационных сигналов. Кровля скальных пород на радарограмме проявляется высокоамплитудными осями синфазности на участках монолитного массива и в виде гиперболических волн на участках крупнообломочного и глыбового материала. Отражения от поверхности песков имеют меньшую амплитуду по причине их водонасыщенности.

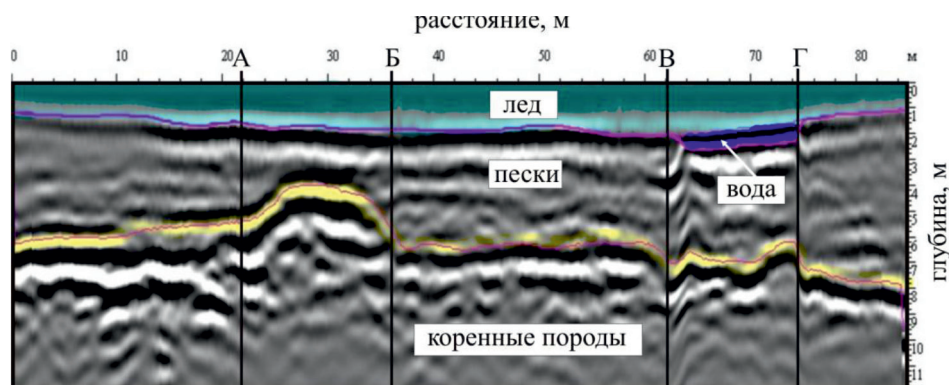


Рис. 1. Георадиолокационный разрез по поперечному профилю дражного полигона

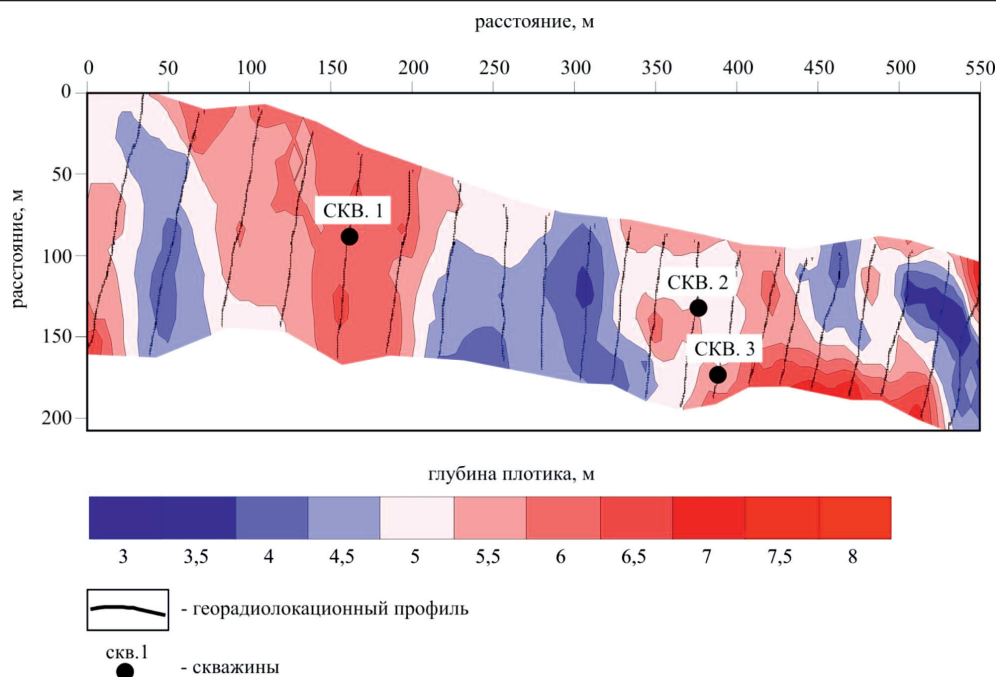


Рис. 2. Рельеф плотика дражного полигона (месторождение р. Аллах-Юнь)

После обработки георадиолокационных данных построена трехмерная модель дражного котлована, определен контур отработки и выход скальных пород. По ней также определены геометрические параметры котлована на момент проведения исследований: глубина отработки – 1,5–13,5 м; скальный выход обнаружен на глубинах до 7,5 м.

После обработки георадиолокационных данных построена трехмерная модель дражного котлована, определен контур отработки и выход скальных пород. По ней также определены геометрические параметры котлована на момент проведения исследований: глубина отработки – 1,5–13,5 м; скальный выход обнаружен на глубинах до 7,5 м.

Основная масса горных пород Якутии при разработке находится в мерзлом состоянии, что приводит к большим потерям не только мелкого, но и крупного золота [15]. Особенно часто потери встречаются на дражных полигонах, в районах развития многолетней мерзлоты: на участках недоотработки плотика, в отвалах, а также в технологических внутриконтурных целиках. Крупные внутриконтурные целики остаются под плотинами, стоянками промприборов, различными сооружениями [16]. Для изучения строения дражных отвалов и выявления целиков на участках месторождения с утраченными разведочными материалами, а также на отработанных площадях

возможно применение георадиолокации. Так, на рис. 4 представлен георадиолокационный разрез, иллюстрирующий возможности георадиолокации в изучении техногенных участков. На радарограмме прослежена кровля коренных пород и слой дражных отвалов. При этом можно наблюдать, как произошла сортировка песков по гранулометрическому составу в процессе дражной переработки. Галечный слой отличается от эфельного наличием большого количества гипербола на волновой картине. Таким образом, по данным георадиолокации в перемытых песках можно выделить две основные составляющие: эфельный и галечный материал, а при площадных исследованиях еще и оценить их объем.

Заключение

Экспериментальные работы по применению георадиолокации в условиях разработки массива показали перспективность метода для изучения рельефа плотика и строения дражных отвалов. Полученные параметры могут способствовать определению маршрута ходов дражного комплекса. При проведении площадных исследований появляется возможность оценки объемов техногенных образований, определения контура отработки дражного котлована и обнаружения выхода скальных пород, скрытых под водой.

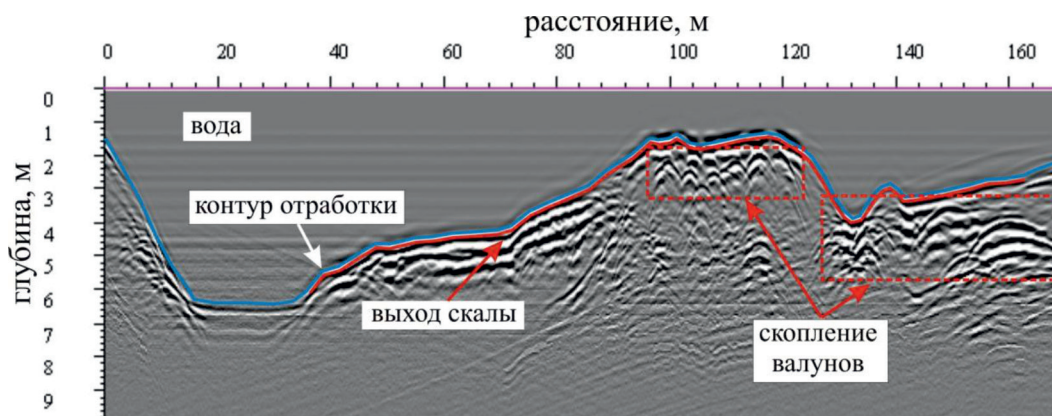


Рис. 3. Георадиолокационный разрез по очистному пространству дражного котлована

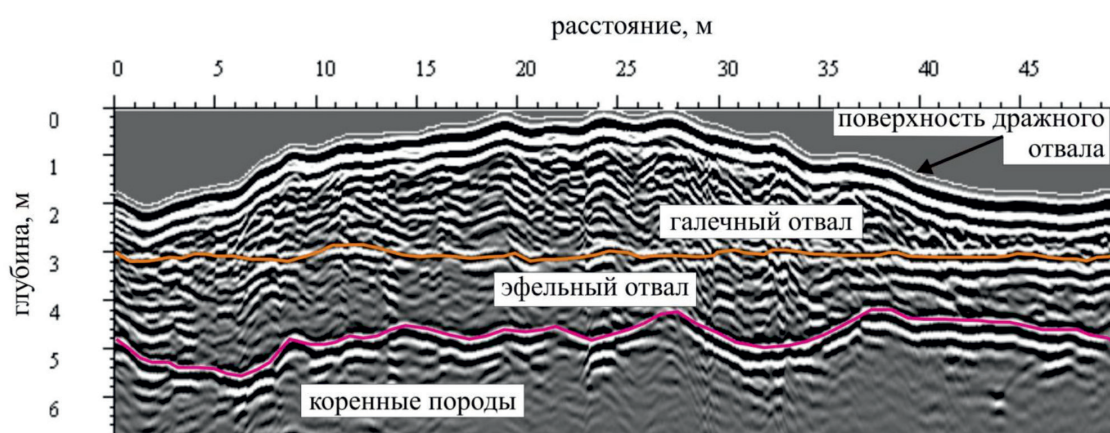


Рис. 4. Возможность изучения техногенных образований на месторождении методом георадиолокации

Результаты работ показали, что метод георадиолокации может найти широкое применение при решении задач изучения морфоструктурных особенностей месторождений. При этом дистанционность и оперативность получения данных в дальнейшем могут способствовать оптимизации технологии и повышению эффективности разработки месторождений.

Список литературы / References

1. Harry M.J. Ground penetrating radar: theory and applications. Elsevier, 2009. 524 p.
2. Омеляненко А.В., Федорова Л.Л. Георадиолокационные исследования многолетнемерзлых пород: монография. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. 136 с.
3. Omelyanenko A.V., Fedorov L.L. Georadar researches of permafrost breeds: monograph. Yakutsk: Yakutsk: Izd-vo YaNCz SO RAN, 2006. 136 p. (in Russian).
4. Федорова Л.Л., Куляндин Г.А., Панишев С.В., Винокуров А.П. Дистанционный прогноз обводненности взрывных блоков при открытой разработке месторождений криолитозоны // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сборник материалов 6-й международной научно-технической конференции // Красноярск: ИПК СФУ, 2008. С. 181–188.
5. Федорова Л.Л., Соколов К.О., Саввин Д.В. Изучение горно-геологических условий месторождения «Маят» на основе современных методов обработки данных георадиолокации // Успехи современного естествознания. 2016. № 9. С. 190–195.
6. Финкельштейн М.И., Карпунин В.И., Кутев В.А. Подповерхностная георадиолокация. М.: Радио и связь, 1994. 216 с.

- Finkelstein M.I., Karpukhin V.I., Kutev V.A. Subsurface georadar-location. M.: Radio and communication, 1994. 216 p. (in Russian).
7. Ермаков С.А., Бураков А.М. Совершенствование геотехнологий открытой разработки месторождений криолитозоны // Проблемы недропользования. 2014. № 3. С. 96–104.
- Ermakov S.A., Burakov A.M. Improvement of Geo-Technologies of Surface Mining the Deposits of Permafrost Zone // Problemy` nedropol`zovaniya. 2014. № 3. P. 96–104 (in Russian).
8. Ермаков С.А., Бураков А.М. Методические рекомендации по выбору и обоснованию рациональной комбинации способов открытой разработки месторождения россыпного золота реки Б. Куранах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 4. С. 123–131.
- Ermakov S.A., Burakov A.M. Methodical Recommendations About the Choice and Justification of the Rational Combination of Method of Open-Cast Mining of Placer Gold Deposit of the River B. Kuranah // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2013. № 4. P. 123–131 (in Russian).
9. Семейкин Н.П., Помозов В.В., Эквист Б.В., Моныхов В.В. Геофизические приборы нового поколения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 12. С. 203–211.
- Semeykin N.P., Pomozov V.V., Ekvist B.V., Monakhov V.V. Geophysical devices of new generation // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2008. № 12. P. 203–211 (in Russian).
10. Руководство пользователя программой «GeoScan32». URL: <http://logsys.ru/download/new/geoscan32manual.pdf> (дата обращения: 16.07.2018).
- User's guide GeoScan32 program. URL: <http://logsys.ru/download/new/geoscan32manual.pdf> (date of the address: 16.07.2018) (in Russian).
11. Sokolov K.O. Frequency-time presentation of georadar profiles based on continuous wavelet transform. Journal of Mining Science. 2014. Vol. 50. No. 2. P. 256–259.
12. Саввин Д.В., Стручков А.С., Куляндин Г.А., Федорова Л.Л. 3D картирование гипсометрии плотика дражных полигонов на примере месторождения р. Аллах-Юнь методом георадиолокации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. С. 21. С. 504–514.
- Savvin D.V., Struchkov A.S., Kulyandin G.A., Fedorova L.L. Dredging Sites Bedrock Hypsometry Mapping on an Example of Allah-Yun River Deposits By GPR // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2016. P. 21. P. 203–211 (in Russian).
13. Пересчет утвержденных запасов для открытой раздельной добычи в запасы для дражной добычи россыпного месторождения р. Аллах-Юнь (участок Мост) по имеющимся условиям и сопровождение их утверждения в ТКЗ Республики Саха (Якутия): отчет о НИР / ОАО «Иргиредмет»; рук. Дементьев В.Е. Иркутск, 2011. С. 12–43.
- Recalculation of the approved stocks for open-pit separate mining in stocks for drazhny production of the loose field of the Allah-Yun River (the site the Bridge) on the available standards and support of their statement in TKZ of the Sakha (Yakutia) Republic: report on Research / ОАО «Irgiredmet»; ruk. Dement`ev V.E. Irkutsk, 2011. P. 12–43 (in Russian).
14. Гаврилов В.Л., Ермаков С.А., Бураков А.М., Касанов И.С. Анализ изменчивости основных параметров продуктивных толщ Куранахского золотороссыпного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 9. С. 61–67.
- Gavrilov V.L., Ermakov S.A., Burakov A.M., Kasanov I.S. Analysis of variability of key parameters of productive thicknesses of the Kuranahsky zolotorossypny field // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2011. № 9. P. 61–67 (in Russian).
15. Ковлеков И.И. Техногенное золото Якутии. М.: Изд-во МГГУ, 2002. 301 с.
- Kovlekov I.I. Technogenic gold of Yakutia. M.: MGGU publishing house, 2002. 301 p. (in Russian).
16. Кавчик Б.К. Два подхода к техногенным россыпям // Золотодобыча. 2000. № 19. URL: <https://zolotodb.ru/article/412> (дата обращения: 16.07.2018).
- Kavchik B.K. Two approaches to technogenic scatterings // Gold mining. 2000. No. 19. URL: <https://zolotodb.ru/article/412> (date of access: 16.07.2018) (in Russian).