

УДК 622.272.06:622.85

**Смирнов Алексей Алексеевич**,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
лаборатории подземной геотехнологии  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58

**Никитин Игорь Владимирович**  
научный сотрудник  
лаборатории подземной геотехнологии  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [geotech910@yandex.ru](mailto:geotech910@yandex.ru)

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ  
БЕЗОПАСНОЙ ПОДЗЕМНОЙ  
ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ ОХРАНЯЕМЫХ  
ТЕРРИТОРИЙ\***

*Аннотация:*

*Необходимость восполнения сырьевой базы редких металлов актуализирует вопрос о целесообразности вовлечения в эксплуатацию месторождений или их участков, расположенных в зоне влияния на особо охраняемые природные территории. Экологическая безопасность освоения месторождений в условиях охраняемых территорий может быть достигнута применением подземного способа разработки с полным или частичным размещением обогатительного комплекса под землей и использованием выработанного пространства отработанных камер в виде технологических емкостей для утилизации максимального объема отходов горнообогатительного производства. На примере освоения Кти-Тебердинского вольфрамowego месторождения, расположенного в непосредственной близости от Тебердинского государственного биосферного заповедника, рассмотрена техническая возможность и установлена экономическая целесообразность применения экологически безопасной подземной геотехнологии, предусматривающей строительство подземного обогатительного комплекса и поэтапную восходящую отработку запасов системами разработки с сухой или гидравлической закладкой из пустой породы горнопроходческих работ и шламов обогащения, обеспечивающей экологическую безопасность и сохранность окружающей территории.*

*Ключевые слова:* рудное месторождение, подземная геотехнология, схема вскрытия, система разработки, экологическая безопасность, утилизация отходов, подземный обогатительный комплекс

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.007

**Smirnov Alexey A.**  
Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher,  
Laboratory of Underground Geotechnology,  
Institute of Mining, UB RAS,  
620075, Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.,

**Nikitin Igor V.**  
Researcher,  
Laboratory of Underground Geotechnology,  
Institute of Mining, UB RAS  
e-mail: [geotech910@yandex.ru](mailto:geotech910@yandex.ru)

**APPLICATION OF ENVIRONMENTALLY  
SAFE UNDERGROUND GEOTECHNOLOGY  
AT THE DEPOSIT DEVELOPMENT  
IN PROTECTED AREAS**

*Abstract:*

*The need to replenish the raw material base of rare metals actualizes the question of the expediency for involving the deposits or their sites located in the zone of impact on specially protected natural areas into the exploitation. Environmental safety of the deposit development in the protected areas can be achieved by using the underground method of development with full or partial location of the processing plant under the ground and by using the mined out area of mined out stopes in the form of technological tanks for the disposal of the maximum amount of mining and processing wastes. On the example of development of the Kti-Teberdinskoe tungsten deposit located in close proximity to the Teberda state biosphere reserve, the paper describes the technical possibility and defines the economic expediency for application of environmentally safe underground geotechnology providing the construction of the mining and processing plant and gradual upward mining of reserves by mining systems with a dry or hydraulic stowing from waste rock of mining operations and slime of enrichment, ensuring the environmental safety and preservation of the surrounding area.*

*Key words:* ore deposit, underground geotechnology, opening scheme, development system, environmental safety, waste utilization, underground processing complex

\* Работа выполнена в рамках государственного задания №075-00581-19-00 по теме № 0405-2019-0005

Перспективы расширения сырьевой базы цветных и редких металлов во многом связаны с вовлечением в эксплуатацию месторождений или их участков, расположенных вблизи особо охраняемых природных территорий [1]. К таким территориям относятся участки земли, водной поверхности и воздушного пространства, на которых располагаются природные объекты, имеющие особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования [2]. Обязательным условием освоения таких месторождений является полное сохранение окружающей природной среды.

На основе анализа мирового опыта разработки месторождений, расположенных вблизи природоохранных территорий, установлено, что решение проблемы сохранения окружающей среды состоит в применении подземного способа разработки месторождений и создании экологически безопасной подземной геотехнологии, основанной на следующих принципах:

1. Использование систем разработки, исключающих обрушение земной поверхности и позволяющих утилизировать отходы горно-обогательного производства (поруду от горнопроходческих и очистных работ, твердые сухие отходы и шламы обогащения) в выработанном пространстве [3];
2. Расположение обогательного комплекса в подземных условиях или за пределами природоохранных территорий [3, 4];
3. Использование видов транспорта и технологического оборудования, работающих от электроэнергии [5];
4. Восстановление (рекультивация и мелиорация) нарушенных горными работами земель [5].

В настоящее время применение экологически безопасной подземной геотехнологии особенно актуально при освоении Кти-Тебердинского вольфрамового месторождения, характеризующегося низким содержанием полезного компонента, что обуславливает выделение большого количества техногенных отходов.

#### *Обоснование экологически безопасной подземной геотехнологии*

Кти-Тебердинское месторождение расположено в Зеленчукском районе Карачаево-Черкесской республики на северном склоне Главного Кавказского хребта в истоках реки Аксаут и приурочено к горному массиву Кургашин-Чат с абсолютной отметкой вершины 3302 м. Район месторождения является типичной высокогорной областью с резко расчлененным рельефом. В пределах месторождения выделено четыре рудных тела с углами падения 20 – 40° и мощностью 2 – 15 м (на отдельных участках до 25 м). Вольфрамовая (шеелитовая) руда и вмещающие породы средней крепости, средне- и малотрециноватые, в основном достаточно устойчивые. Объем водопритоков определяется уровнем атмосферных осадков и интенсивностью таяния ледников и снежников.

Важнейшей особенностью залегания Кти-Тебердинского месторождения является то, что оно находится в непосредственной близости от Тебердинского государственного биосферного заповедника, включенного во Всемирную сеть природных резерватов. Поэтому любые, даже незначительные изменения эколого-географической обстановки территории месторождения недопустимы.

В ТЭО постоянных кондиций (Институт «Гипроцветмет», 1986 г.) запроектирована подземная разработка Кти-Тебердинского месторождения с применением схемы вскрытия пятью штольнями и двумя вертикальными стволами (клетевым и вентиляционным) при высоте этажа 75 м и нисходящей отработке рудных тел. Производственная мощность рудника принята равной 650 тыс. т руды в год. В результате исследований и полупромышленных испытаний (ПГО «Севкавказгеология», 1987 г.) предложена схема обогащения руд Кти-Тебердинского месторождения, обеспечивающая получение 4 - 6 тыс. т шеелитового концентрата в год и включающая следующие стадии: дробление,

рентгено-люминесцентная сепарация, мельничное измельчение, трехстадийная флотация и химическая доводка. При данной схеме выход хвостов обогащения очень высок: объем сухих хвостов сепарации составит около 12 млн т, шламов флотации – почти 18 млн т.

По нашему мнению, проектные решения не в полной мере обеспечивают экологическую безопасность горных работ и нуждаются в пересмотре. Горно-геологические и геомеханические условия месторождения позволяют вести отработку рудных тел в восходящем порядке. Вскрытие месторождения целесообразно осуществлять штольнями и автотранспортным уклоном (рис. 1). Данная схема вскрытия позволяет отказаться от строительства вертикальных стволов и осуществить поэтапный (снизу вверх) ввод горизонтов рудника [6]. Рациональной выглядит нагнетательная схема проветривания с размещением главной вентиляционной установки на нижней штольне и выдачей загрязненного воздуха через вышерасположенные штольни.

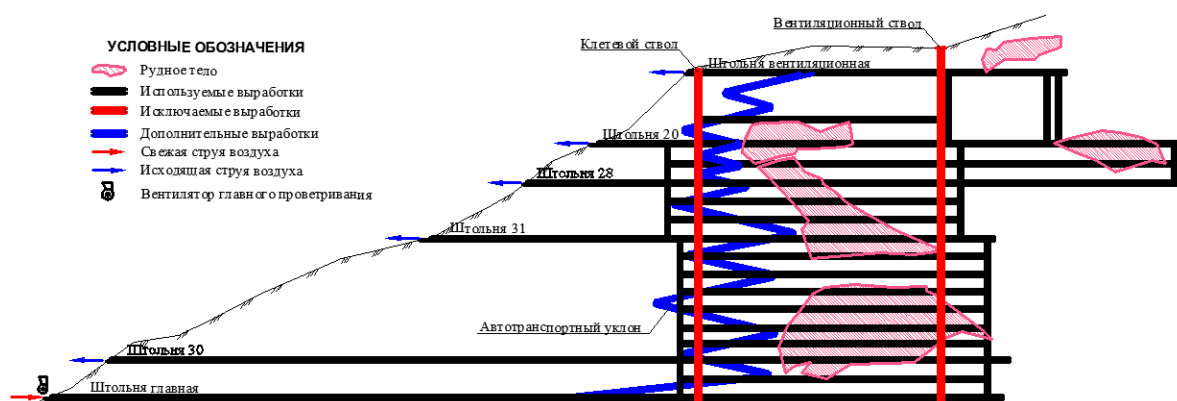


Рис. 1 – Рекомендуемая схема вскрытия Кти-Тебердинского месторождения

Малая мощность рудных тел и значительная глубина их залегания на большей части месторождения в принципе позволяет применять системы с обрушением руды и вмещающих пород [7]. При этом можно прогнозировать, что зона обрушения не выйдет на поверхность, однако не исключены локальные подвижки налегающего массива или образование в нем трещин, образующих аэродинамическую связь с земной поверхностью и нарушающих температурный режим вышележащих ледников. А самое главное, применение данных систем практически исключает возможность размещения пустых пород из проходки выработок и отходов обогащения в выработанном пространстве.

Также возможно применение камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Главным преимуществом данной системы являются высокие показатели извлечения руды (потери 3 – 5 %, разубоживание до 10 %), недостатком – высокая себестоимость добычных работ (больше на 25 – 30 % по сравнению с другими системами разработки). Важно отметить, что в процессе усадки твердеющей смеси происходит небольшое оседание налегающих пород. Кроме того, для приготовления закладочной смеси потребуются строительство закладочного комплекса [8], причем для использования наиболее экономичного трубопроводного транспорта он должен располагаться выше обрабатываемых рудных тел.

В рассматриваемых условиях наиболее эффективной является камерно-столбовая (целиковая) система разработки восходящими горизонтальными слоями с сухой или гидравлической закладкой (рис. 2). При данной системе поддержание налегающих пород обеспечивается оставлением неизвлекаемых столбчатых или ленточных целиков. После выемки очередного слоя выработанное пространство заполняется сухой или гидравлической закладкой из пустой породы и отходов обогащения. Закладка служит почвой вы-

шележащего обрабатываемого слоя. Все производственные процессы добычи руды выполняются при помощи самоходного оборудования, что позволяет обеспечить высокую производительность труда и безопасность горных работ. Камерно-столбовая система разработки успешно применяется при обработке Саткинского месторождения магнезита [9]. Основным ее недостатком является высокий уровень потерь руды в неизвлекаемых целиках (до 20 – 25 %). Для снижения указанных потерь актуальна частичная или полная замена рудных целиков, в том числе потолочин, на искусственные (бетонные) [10].

Следует отметить, что образующийся объем выработанного пространства может быть недостаточен для размещения всех отходов горно-обогатительного производства. Поэтому некоторую часть сухих хвостов сепарации и пустой породы придется складировать в отвалах на поверхности. Использование шламов флотации в виде гидравлической закладки возможно только при предварительном их сгущении и обезвоживании [11]. Это потребует введения в состав обогатительного комплекса специального отделения.

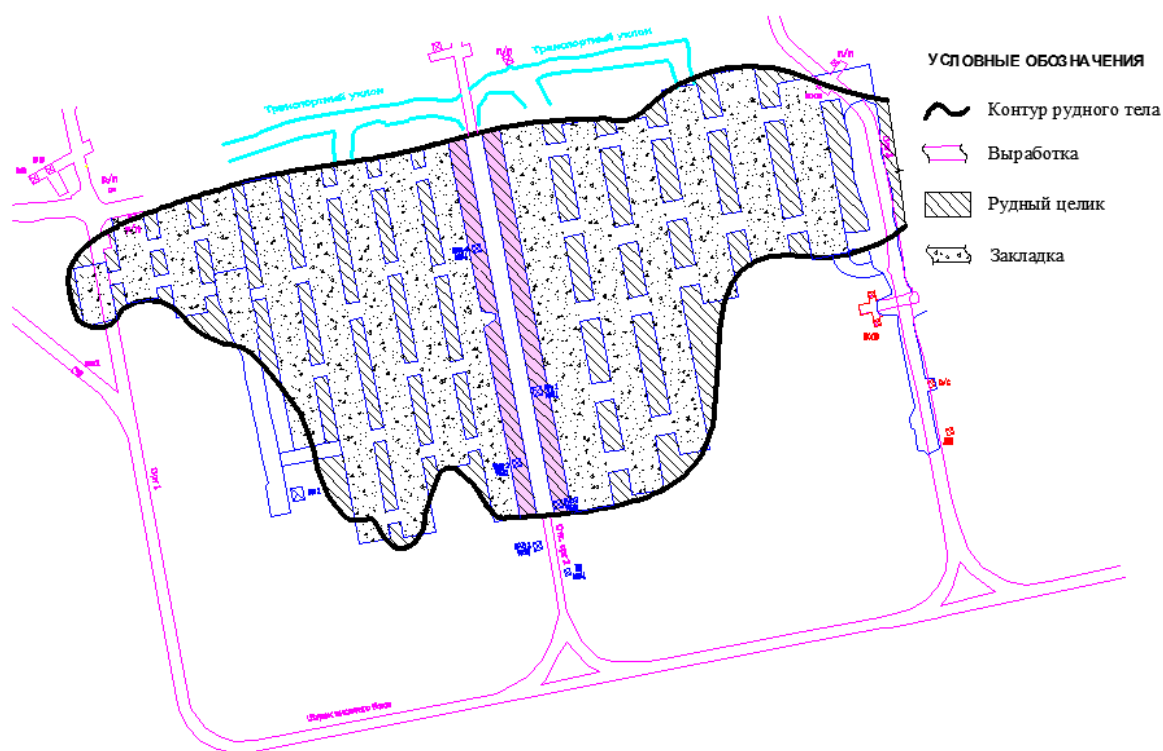


Рис. 2 – Камерно-столбовая система разработки восходящими горизонтальными слоями с сухой или гидравлической закладкой

Рельеф поверхности, опасность камнепадов, оползней и схода снежных лавин в зимний период вызывают большие трудности при выделении безопасных площадей как в пределах горного отвода, так и близлежащих территорий для размещения объектов социальной и промышленной инфраструктуры, в том числе обогатительной фабрики с входящими в ее состав шламохранилищем, рудным складом, очистными сооружениями и отвалами. Выходом из этого положения является полное или частичное размещение обогатительного комплекса под землей. По этим же причинам целесообразна вахтовая организация работы со строительством вахтового поселка.

Учитывая имеющиеся транспортные коммуникации и перспективы их развития в высокогорной местности, при строительстве подземного рудника и транспортировке концентрата нужно использовать автомобильный транспорт. В связи с достаточно небольшими объемами перевозка готовой продукции железнодорожным транспортом выглядит малоэффективной.

*Оценка экономической эффективности экологически безопасной подземной геотехнологии*

Выполнена предварительная оценка капитальных вложений в освоение Кти-Тебердинского месторождения с применением экологически безопасной подземной геотехнологии. В качестве основы принята смета затрат ПГО «Севкавказгеология», рассчитанная в ценах 1984 г., из которой выделены основные объекты капитального строительства и определены соответствующие капитальные затраты. Коэффициент перевода цен в 2019 г. равен 98.

В соответствии с рекомендованными геотехнологическими решениями по вскрытию и отработке месторождения перечень объектов и объемы затрат были скорректированы исходя из следующих соображений:

1. Затраты на горно-капитальные работы уменьшаются на 30 % вследствие отказа от строительства вертикальных стволов, но увеличиваются на 20 % за счет проведения автоуклона и выработок для транспортирования закладки и обслуживания самоходной техники.

2. Затраты на приобретение основного технологического оборудования увеличиваются в полтора раза в связи с применением дорогостоящей высокопроизводительной самоходной техники.

3. Затраты на строительство шламохранилища на земной поверхности исключаются в связи с тем, что шламы флотации будут размещаться в выработанном пространстве. Необходимы только затраты на обустройство отвалов сухих хвостов и пустых пород.

4. Затраты на строительство автодороги для перевозки концентрата уменьшаются на 40 %, поскольку при небольшом его объеме нет необходимости строить дорогу до железнодорожной станции, достаточно реконструировать существующую автодорогу до автотрассы Черкесск-Зеленчукская длиной 70 км.

5. В суммарные капитальные затраты следует включить затраты на строительство вахтового поселка.

Пообъектный расчет капитальных вложений в ценах 2019 г. по вариантам освоения Кти-Тебердинского месторождения приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Распределение капитальных вложений по объектам строительства**

№ п/п	Объекты капитального строительства	Капитальные затраты по проекту, млн руб.	Капитальные затраты по нашему варианту, млн руб.
1	Подземный рудник, в т.ч.: - горно-капитальные работы - здания и сооружения - технологическое оборудование	2064 882 560 622	2234 741 560 933
2	Обогатительная фабрика, в т.ч.: - горно-капитальные работы - здания и сооружения - технологическое оборудование	1780 - 856 924	1600 676 - 924
5	Хвостохранилище и отвалы	1572	450
4	Электроподстанция и ЛЭП	134	134
5	Автомобильная дорога	1436	862
6	Вахтовый поселок	-	600
	<i>Всего капитальных вложений</i>	<i>6986</i>	<i>5880</i>

Капитальные затраты на строительство подземного рудника с учетом корректировок составляют 2,2 млрд руб. Величина затрат сопоставима с данными проектирования современных рудников с аналогичной мощностью. Например, капитальные затраты на строительство Молодежного медного рудника на Урале с производственной мощностью 400 тыс. т/год [12] в ценах 2019 г. составляют 1,9 млрд руб. Оценка затрат на строительство подземного обогатительного комплекса выполнена в работе [13]. Было установлено, что стоимость строительства подземного комплекса сопоставима или даже несколько ниже стоимости строительства аналогичного поверхностного комплекса. С учетом небольшой производительности подземного рудника, а также возможности исключения из схемы обогащения стадии крупного дробления капитальные затраты на строительство подземного обогатительного комплекса следует принять равными 1,6 млрд руб.

По предварительной оценке капитальные вложения в освоение Кти-Тебердинского месторождения с применением экологически безопасной подземной геотехнологии составят около 5,9 млрд руб. Экономический эффект по сравнению с проектным вариантом составит 1,1 млрд руб.

Согласно расчетам ПГО «Севкавказгеология» себестоимость продукции Кти-Тебердинского комбината в ценах 2019 г. составляет 2023 руб/т, в том числе себестоимость добычи руды – 1093 руб/т, обогащения – 550 руб/т, прочие общекорпоративные и внепроизводственные расходы – 380 руб/т.

Наиболее близким аналогом по горно-геологическим и горнотехническим условиям разработки и применяемой технологии подземной добычи руды является Урупский медный рудник, расположенный на Кавказе. В работе [14] определена себестоимость добычи руды с применением камерно-столбовой системы разработки на основе самоходного оборудования в размере 1130 руб/т. Себестоимость обогащения руды на Урупской флотационной фабрике равна 507 руб/т. Так, себестоимость добычи и переработки 1 т руды по проекту и на руднике-аналоге достаточно близки между собой.

С учетом необходимости увеличения заработной платы работников при вахтовой организации работ себестоимость добычи и переработки 1 т руды можно принять равной 2500 руб/т.

При содержании триоксида вольфрама в руде 0,366 % (в концентрате 55 %) и его извлечении при обогащении, равном 85 %, выход концентрата составит 0,56 %. В этом случае затраты на производство 1 т концентрата будут равны 446 тыс. руб. При годовой производственной мощности рудника 650 тыс. т руды объем концентрата составит 3640 т. Годовые эксплуатационные затраты комбината составят 1,6 млрд руб.

Ценность шеелитового концентрата на мировом рынке в настоящее время определяется конъюнктурными соображениями и может быть принята в пределах 8 – 12 тыс. долл. США/т. При курсе доллара 65 рублей цена 1 т концентрата с содержанием триоксида вольфрама 55 % составит 520 – 780 тыс. руб., следовательно, годовой доход комбината составит 1,9 – 2,8 млрд руб. Срок окупаемости капитальных вложений составит 10 – 12 лет.

Таким образом, промышленная эксплуатация Кти-Тебердинского месторождения экологически безопасной подземной геотехнологией является экономически целесообразной, особенно с учетом того, что в обозримом будущем добыча и производство вольфрама могут иметь для России стратегическое значение при реализации политики импортозамещения.

#### *Заключение*

Экономическая эффективность и экологическая безопасность освоения месторождений в условиях охраняемых территорий достигается применением подземного способа разработки со строительством обогатительного комплекса под землей и использованием выработанного пространства отработанных камер в виде технологических емкостей для утилизации максимального объема отходов горно-обогатительного производства.

## Литература

1. Яковлев В.Л. Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов / В.Л. Яковлев, А.В. Гальянов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 152 с.
2. Федеральный закон от 14.03.1995 №33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» (с изм. и доп., вступ. в силу с 24.07.2015).
3. Medvedev A., Sokolov I., Gobov N., Smirnov A. Cleaner production in mining industry: a flowsheet for underground mining of iron ore deposit // 14th SGEM GeoConference on Science and Technologies In Geology, Exploration and Mining, SGEM2014 GeoConference Proceedings. 2014. Book 1. Vol. 3. P. 85-90.
4. Обеспечение экологической безопасности в зоне действия обогатительных фабрик / А.Г. Дедегкаев, В.В. Хмара, Ю.Г. Лобозкий, В.Л. Элбакян // Устойчивое развитие горных территорий. – 2017. – № 1. – С. 65 - 73.
5. Громов Е.В. Повышение эффективности подземной разработки месторождений в условиях экологических ограничений / Е.В. Громов, А.А. Леонтьев // материалы научно-технической конференции «Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов». – Апатиты-Санкт-Петербург: Реноме, 2014. – С. 112 - 118.
6. Никитин И.В. Вскрытие и технология отработки крутопадающего жильного месторождения в условиях гористой местности / И.В. Никитин // Проблемы недропользования. – 2014. – № 1. – С. 108 - 113.
7. Обоснование параметров предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов трубки «Удачная» системами с обрушением / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, И.В. Никитин, М.С. Тишков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 2. – С. 52 - 62.
8. Sheshpari M. Review of underground mine backfilling methods with emphasis on cemented paste backfill // The Electronic Journal of Geotechnical Engineering. - 2015. - Vol. 20. - No. 13. - P. 5183 - 5208.
9. Смирнов А.А. Особенности применения камерно-столбовой системы разработки на шахте «Магнетитовая» / А.А. Смирнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 5. – С. 291 - 293.
10. Голик В.И. Искусственные потолочины при подземной добыче руд как альтернатива рудным целикам / В.И. Голик, Ю.И. Разоренов, В.Г. Лукьянов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – № 3. – С. 87- 94.
11. Matani A.G., Doifode S.K. Effective industrial waste utilization technologies towards cleaner environment // International Journal of Chemical and Physical Sciences. - 2015. - Vol. 4. No. 1. - P. 536-540.
12. Волков Ю.В. Проектные решения по доработке Молодежного месторождения подземным способом / Ю.В. Волков, И.В. Соколов, В.Д. Камаев // Горный журнал. – 2004. – № 6. – С. 37 - 40.
13. Целесообразность применения подземных обогатительных комплексов на железорудных шахтах / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Н.В. Гобов, Ю.Г. Антипин // Горный информационно-аналитический бюллетень. –2014. – № 6. – С. 197 - 206.
14. Изыскание подземной геотехнологии при переходе к освоению глубокозалегающих запасов наклонного медноколчеданного месторождения / И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, И.В. Никитин, К.В. Барановский, А.А. Рожков // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – № 2. – С. 47 - 53.