

УДК 622.235.62

**Жариков Сергей Николаевич**

кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075 г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [333vista@mail.ru](mailto:333vista@mail.ru)

**Кутуев Вячеслав Александрович**

младший научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [slavik1988@mail.ru](mailto:slavik1988@mail.ru)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКОГО  
ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА НА ПРЕДЕЛЬНОМ  
КОНТУРЕ КАРЬЕРА  
ДЖЕТЫГАРИНСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ\****Аннотация:*

Представлены результаты научных исследований в области буровзрывных работ (БВР), которые были проведены Институтом горного дела УрО РАН на карьере Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста. Работа была направлена на повышение устойчивости стационарных уступов и минимизацию затрат на БВР, и в результате были достигнуты две цели. Во-первых, в условиях Джетыгаринского месторождения были разработаны параметры отработки приконтурных блоков, обеспечивающие снижение динамической нагрузки от взрывных работ на законтурный массив. Во-вторых, разработана и внедрена методика измерений скорости сейсмических колебаний грунта, возникающих в результате технологических взрывов, а также усовершенствована технология БВР при постановке уступов в предельное положение. Изложен принцип разработки специальной технологии БВР на предельном контуре карьера, который заключается в изучении воздействия взрыва на законтурный массив; установлении закономерностей протекания в массиве волновых процессов; определении взаимодействия зарядов контурной ленты в зависимости от прочностных характеристик массива; проведении опытно-промышленных испытаний способов заоткоски; определении этапности подхода технологических взрывов к охраняемому участку, а также определении критериев оценки эффективности производства БВР.

*Ключевые слова:* буровзрывные работы, карьер, контурное взрывание, сейсмическое действие взрыва, предельный контур карьера, специальная технология БВР, заоткоска, взрыв

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.020

**Zharikov Sergey N.,**

Candidate of Engineering Sciences,  
Head of Laboratory,  
Institute of Mining, UB RAS,  
620075, Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [333vista@mail.ru](mailto:333vista@mail.ru).

**Kutuev Vyacheslav A.**

Junior Researcher,  
Institute of Mining, UB RAS  
e-mail: [slavik1988@mail.ru](mailto:slavik1988@mail.ru).

**RESULTS OF EXPERIMENTAL  
STUDIES OF DYNAMIC  
EXPLOSION ACTION ON LIMITING  
OPEN-PIT CONTOUR  
OF DZHETYGARINSKOE DEPOSIT***Abstract:*

The paper has presented the results of scientific studies in the field of drill-and-blast works (D&B), the studies being carried out by the Institute of Mining of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences at the Dzhetygarinskoe deposit of chrysotile asbestos. The study was aimed at improving the stability of fixed benches and minimizing the cost of D&B, and as a result two goals have been achieved. First, in the conditions of the Dzhetygarinskoe deposit, the parameters for mining the boundary blocks have been developed, ensuring the reduction of dynamic pressure from blasting on the perimeter rock mass. Secondly, the technique for measuring the velocity of seismic oscillations of the soil resulting from technological blasts has been developed and implemented, as well as the D&B technology in the setting of benches has been improved to the limiting position. The paper describes the principle for developing the special D&B technology on the limiting contour of the open-pit mine, which is to study the impact of blasting on the perimeter rock mass; to establish the patterns of flux in the mass of wave processes; determination of interaction of contour charges depending on strength characteristics of the rock mass; conducting of pilot tests of the deviated contour holes; definition of the phasing for technological blasting approach to the protected area, as well as the definition of criteria for assessing the D&B efficiency.

*Key words:* drill-and-blast works, open-pit mine, perimeter contour blasting, seismic effect of blasting, limiting open-pit contour, special D&B technology, deviated contour holes, blasting.

\* Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 075-00581-19-00, темы № 0405-2019-0005 (2019 – 2021 гг.), а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств

### Введение

Месторождение находится в Костанайской области Республики Казахстан. С областным центром, городом Костанаям, месторождение связано асфальтовой дорогой протяженностью 217 км и железной дорогой протяженностью 205 км. Климат района резко континентальный со среднегодовой температурой  $+18^{\circ}\text{C}$ , минимальной (до  $-40^{\circ}\text{C}$ ) в январе, максимальной ( $+40^{\circ}\text{C}$ ) в июле. Среднегодовое количество осадков 217,7 мм, высота снежного покрова до 260 мм, глубина промерзания почвы до 2 м. Электроэнергию район получает по линиям электропередач напряжением 110 кВ. По экономическому развитию Джетыгаринский район является аграрно-промышленным.

Анализ геологической документации по Джетыгаринскому месторождению выявил частичное отсутствие сведений по физико-механическим свойствам горных пород. В то же время указывается, что горный массив имеет свойства, схожие с породами Баженовского месторождения. Однако, кроме экспертной оценки, другого подтверждения в представленных документах не обнаружено. С учетом того, что деформационные процессы, зависящие от структурных особенностей в горном массиве, существенно отличаются, для этих целей, согласно справочной литературе [1 – 7], предварительно были установлены возможные изменения физико-механических свойств месторождения и оформлены в виде диаграммы (рис. 1).

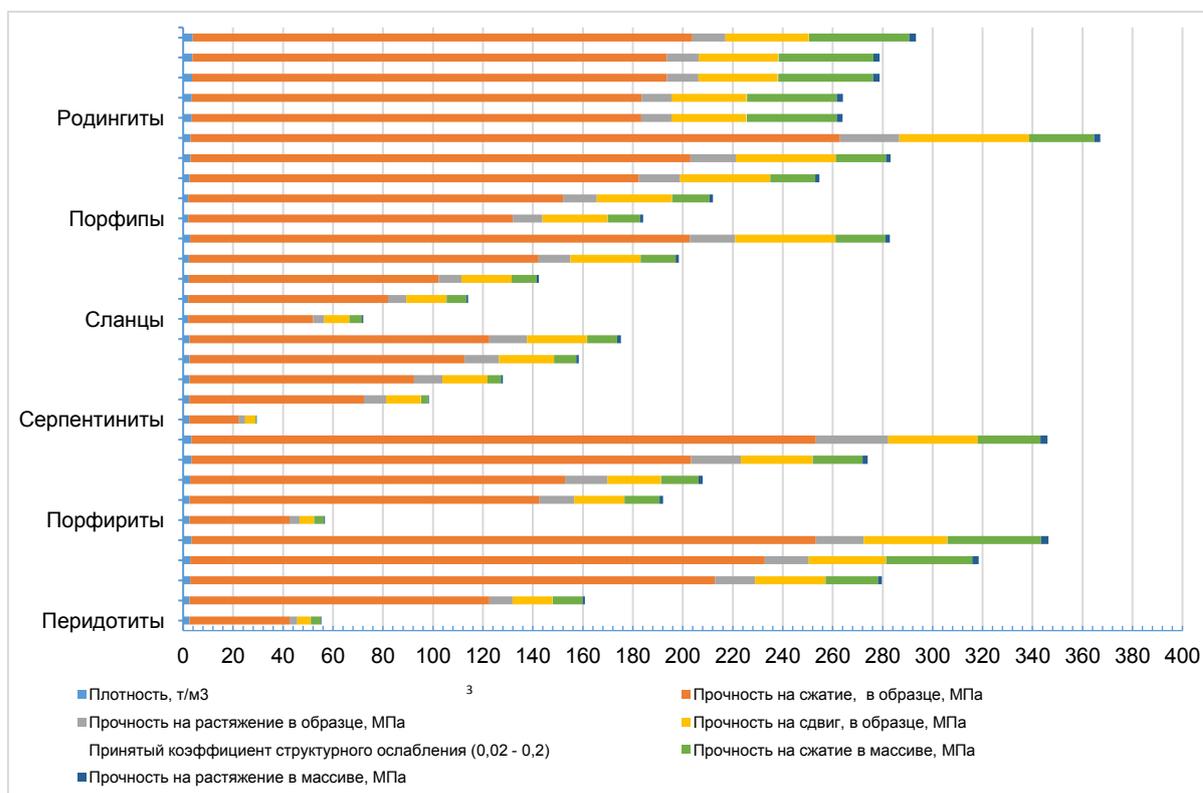


Рис. 1 – Физико-механические свойства породных комплексов Джетыгаринского карьера

Система разработки Джетыгаринского месторождения – транспортная с внешним отвалообразованием. Высота рабочих уступов – 15 м, ширина рабочих площадок в зоне ж/д транспорта – 45 м, в зоне работы автомобильного транспорта – 35 м, ширина транспортных берм – 25 м, бERM безопасности – 12 м, высота ярусом на внешнем отвале – 30 м. Угол откоса уступов  $60 - 70^{\circ}$ . При производстве взрывных работ применяется метод скважинных зарядов.

Технология ведения горных работ – цикличная с применением буровзрывных работ. Бурение взрывных скважин осуществляется станками шарошечного типа

DML-LP 1200/110 с диаметром долота 215 мм. Негабариты разрушаются в районе забоя бутобоем «Раммер» и вторичным взрыванием шпуровым методом. Экскавация горной массы производится экскаваторами ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-6,3УС. Для транспортирования горной массы применяется комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт – автосамосвалы БелАЗ 75145, 75131; тяговые агрегаты ПЭ-2М с думпкарами 2ВС-105. Для строительства железнодорожных путей в карьере используются консольные железнодорожные краны, для строительства электролиний – опоропереносчики на базе трактора К-701.

Специфика месторождения определяется его генезисом и сложившимися горно-геологическими и геомеханическими условиями разработки. Месторождение приурочено к глубинному меридиональному разлому шириной около трех километров. Протяженность самого месторождения, находящегося в этом разломе, составляет около 18 км, промышленная концентрация полезного ископаемого прослеживается на глубины 500 – 800 м. В соответствии с залеганием месторождения в пределах глубинного разлома ведущая роль в формировании исходного и вторичного напряженно-деформированных состояний принадлежит современным геодинамическим движениям. Исследования геомеханических условий Джетыгаринского месторождения, проведенные отделом геомеханики ИГД УрО РАН [8], показали, что исходное напряженно-деформированное состояние района залегания месторождения имеет умеренные параметры с неравномерным и неоднородным распределением как в области влияния карьера, так и в окружающих массивах пород. Мозаичность исходного напряженно-деформированного состояния создает соответствующую неоднородность вторичного напряженно-деформированного состояния, в котором в бортах карьера имеются зоны концентрации горизонтальных напряжений и деформаций, зоны депрессии, а также зоны с преобладанием поднятий и оседаний. В структурном строении массива горных пород также имеет место неоднородность. В бортах карьера присутствуют зоны с повышенной трещиноватостью пород, в подавляющем большинстве согласующиеся с тектоническими нарушениями. Преимущественное влияние на устойчивость откосов бортов оказывают циклические короткопериодные колебания, связанные в том числе с ведением взрывных работ. В этом случае особого внимания требуют буровзрывные работы в приконтурной зоне, иначе определенные технологические решения в динамике, без учета распространения волновых процессов, могут привести к катастрофическим последствиям.

В 2016 – 2017 гг. Институтом горного дела УрО РАН была проведена научно-исследовательская работа по совершенствованию БВР на предельном контуре Джетыгаринского карьера. Данная работа была направлена на повышение устойчивости стационарных уступов и минимизацию затрат на буровзрывные работы. Во-первых, в условиях Джетыгаринского месторождения необходимо было разработать параметры отработки приконтурных блоков, обеспечивающие снижение динамической нагрузки от взрывных работ на законтурный массив. Во-вторых, отработать и внедрить методику измерений скорости сейсмических колебаний грунта, возникающих в результате технологических взрывов, а также совершенствовать технологию БВР при постановке уступов в предельное положение. В этих исследованиях, их организации и обеспечении принимали участие специалисты ИГД УрО РАН: Шеменёв В.Г., Жариков С.Н., Кутуев В.А., Реготунов А.С., Меньшиков П.В., Флягин А.С., Таранжин С.С. и АО «Костанайские минералы»: Жакеев М.А., Сончик М.С., Домнышев В.Г., Миляев А.С., Кривченко А.А. и др. При плодотворном взаимодействии сотрудников ИГД УрО РАН и АО «Костанайские минералы» обе цели были достигнуты. Описание основных результатов исследований приведено ниже.

### Теория, материалы и методы исследования

На первом этапе была установлена теоретическая сейсмоустойчивость горных пород карьера по методике [9, 10]. На втором этапе проведены инструментальные измерения сейсмического действия взрывов с использованием двух устройств регистрации и анализа напряжений УрАН (НПО «Автоматика», Россия (Екатеринбург) со стандартными трехкомпонентными сейсмоприемниками GS-20 (рабочий диапазон частот 2 – 250 Гц), устанавливаемыми в грунт по разные стороны от взрываемого блока и ориентированными по трем направлениям относительно взрыва. Всего было проведено 22 измерения. Согласно полученным данным превышения минимально допустимых скоростей во всех случаях не наблюдалось. Однако в одном случае допустимая скорость не была превышена по перидотитам, но была выше допустимой у серпентинитов. С учетом сложной структуры массива Джетыгаринского месторождения и возможности близкого расположения серпентинитовых и перидотитовых горных массивов особое значение имеет выбор схем инициирования зарядов для обеспечения минимального воздействия на законтурный массив горных пород.

На третьем этапе по результатам измерений устанавливалась скорость прохождения продольных волн (рис. 2) и уточнялся коэффициент структурного ослабления, а также зоны распространения деформационных процессов (рис. 3) согласно [11, 12].

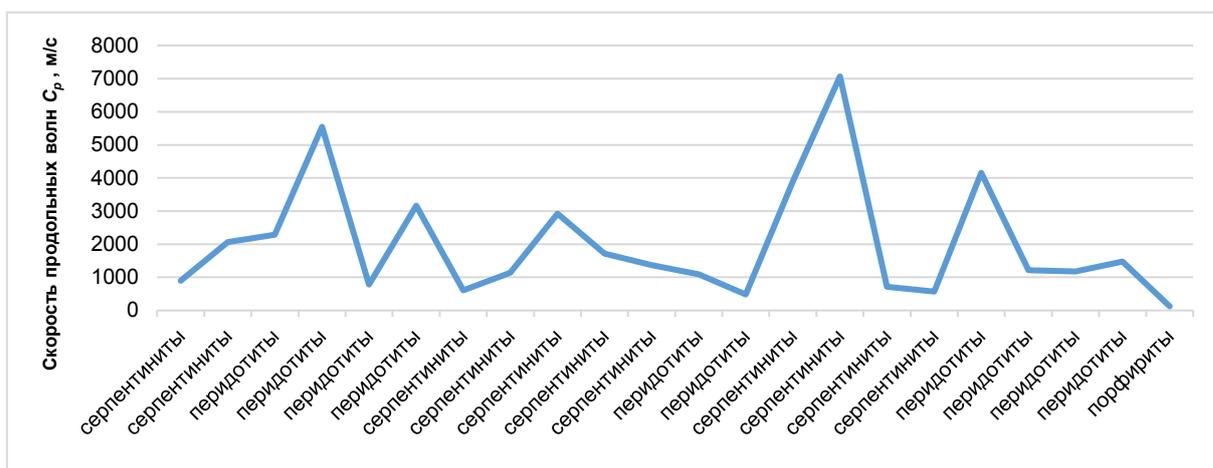


Рис. 2 – Результаты определения скорости продольных волн в породе по данным измерения сеймики

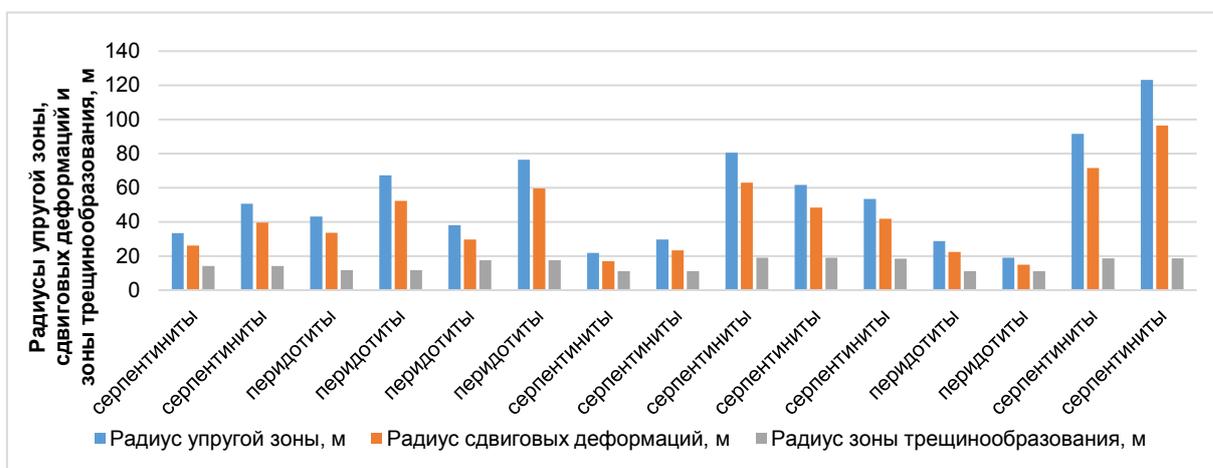


Рис. 3 – Результаты расчета радиусов зон действия взрыва по экспериментальным данным

Низкая скорость продольных волн (1000 - 3000 м/с, см. рис. 2), указывает на то, что на пути следования волны породы достаточно нарушены. Высокая скорость связана с повышением блочности массива и снижением трещиноватости. Также высокая скорость может выражать некоторую кумуляцию волновых процессов, которая в настоящее время не имеет достаточного математического описания для применения в технических расчетах.

На диаграмме (см. рис. 3) видны фактические расстояния действия волновых процессов в результате технологических взрывов, направленных в глубь горных пород Джетыгаринского карьера. Согласно полученным результатам указанное воздействие было различным. Однако можно сделать вывод, что безопасные расстояния, на которых исключено формирование остаточных деформаций среды, находятся в среднем в пределах от 30 до 100 м. Также отмечается существенная величина возможного радиуса развития трещин – 19 м, что указывает на высокую опасность развития заколов в тыл откосных сооружений. Поэтому необходимо организовывать качественное экранирование массива от взрыва в приконтурной зоне.

Обводненность массива способствует распространению взрывных волн на большее расстояние и негативно влияет на сохранение устойчивости откосов уступов. Основным источником водопоступления являются локализованные в карьерном пространстве зоны тектонических нарушений. В данных условиях технологические взрывы выемочных блоков оказывают весьма существенное воздействие на устойчивость прибортового массива, что согласуется с результатами расчета. Желательно, чтобы взрывы вблизи погашенных участков осуществлялись в максимально осушенных породах: это снизит интенсивность распространения сейсмических волн.

Таким образом, в условиях Джетыгаринского карьера следует особое внимание уделять осушению массива при производстве БВР в приконтурной зоне, а подход буровзрывных работ к предельному контуру карьера должен осуществляться по специальным схемам, уменьшающим влияние взрывов на устойчивое состояние уступов, в том числе с организацией экранирования массива путем взрывов сближенных скважин контурных лент для создания отрезных щелей.

На четвертом этапе работы по результатам проведенных исследований сейсмического действия технологических взрывов устанавливались и обосновывались для условий Джетыгаринского карьера параметры отработки приконтурных блоков, обеспечивающие снижение динамической нагрузки от взрывных работ на законтурный массив, а также параметры контурного взрывания в зависимости от прочностных характеристик горных пород. В результате исследований был разработан технологический регламент производства БВР на предельном контуре Джетыгаринского карьера в соответствии с [13, 14], являющийся логическим завершением этого этапа и работы в целом.

Для снижения динамического воздействия технологических взрывов на устойчивость откосных сооружений карьера проводился комплекс исследований сейсмической устойчивости горного массива. По результатам исследований сейсмоустойчивости горных пород разрабатывалась специальная технология производства БВР на предельном контуре карьера. Предложенные технологические приемы проходили промышленные испытания в рамках соответствующей программы, которая утверждалась руководством горного предприятия, включала этапы выполнения, перечень необходимых ресурсов, порядок контроля за выполнением пунктов программы. После реализации программы и опытно-промышленных испытаний полученные результаты анализировались и был составлен внутренний нормативный документ предприятия по производству БВР на предельном контуре карьера (технологический регламент).

### Выводы

Исследования в очередной раз [15] подтвердили, что распространение зон межблочных подвижек от взрывов в различных горных породах, слагающих общий массив, неодинаково, и в условиях Джетыгаринского карьера составляет от 30 до 100 м, что говорит о необходимости учета распространения сейсмических волн в массиве при определении параметров БВР на заоткосных работах.

Было осуществлено внедрение специальной технологии буровзрывных работ на предельном контуре Джетыгаринского карьера, которая заключается в обеспечении минимального влияния буровзрывных работ на устойчивость бортов карьера; повышении безопасности при производстве работ под высокими уступами; снижении себестоимости производства товарной продукции. Основным конкурентным преимуществом реализованной разработки является то, что ее применение особенно эффективно при увеличении интенсивности горных работ. Также повышается промышленная безопасность за счет регламентирования производства работ на предельных контурах карьера.

### Литература

1. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород / М.М. Протодьяконов, Р.И. Тедер, Е.И. Ильницкая и др. - М.: Недра, 1981. – 192 с.
2. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / М.М. Протодьяконов, Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер и др.; под ред. акад. Н.В. Мельникова и др. – М.: Недра, 1975. – 279 с.
3. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М.: Недра, 1984. – 359 с.
4. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород / В.В. Ржевский. - М.: Наука, 1975. – 212 с.
5. Минералы. Справочник: в IV т. / Коллектив авторов; глав. ред. Ф. В. Чухров. – М.: АН СССР, 1960 – 1992.
6. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. Под. ред. Н.Б. Дортман. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 455 с.
7. Друкованый М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах / М.Ф. Друкованый. - М.: Недра, 1973. – 415 с.
8. Панжин А.А. Исследование современного напряженно-деформированного состояния Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста / А.А. Панжин, А.Д. Сашурин // Уральский горнопромышленный форум, VI Горное дело. Технологии. Оборудование. Спецтехника: специализированная выставка: офиц. каталог: тезисы / Компания ЭКСПОГРАД, ИГД УрО РАН и др. – Екатеринбург: АМБ, 2015. – С. 178 – 179.
9. Жариков С.Н. О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров / С.Н. Жариков, В.Г. Шеменев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – № 2. – С. 80 – 83.
10. Жариков С.Н. Изучение сейсмического действия взрыва в карьере для внедрения специальной технологии заоткосных работ / С.Н. Жариков, В.А. Кутуев // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: материалы всероссийской конференции с международным участием. – 2017. – С. 179 – 183.
11. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах / В.Н. Мосинец. - М.: Недра, 1976. – 271 с.
12. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии / И.Ф. Бондаренко, С.Н. Жариков, И.В. Зырянов, В.Г. Шеменев. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. – 172 с.

13. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих взрывные работы [Электронный ресурс]: Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 года № 355. Зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 13 февраля 2015 года № 10250. – Режим доступа: <http://www.adilet.zan.kz> – (12.07.2017).

14. Единые правила по рациональному и комплексному использованию недр при разведке и добыче полезных ископаемых [Электронный ресурс]: Совместный приказ Министра по инвестициям и развитию РК от 17 ноября 2015 года № 1072 и Министра энергетики Республики Казахстан от 30 ноября 2015 года № 675. Зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 15 января 2016 года № 12872. – Режим доступа: <http://www.adilet.zan.kz> – (12.07.2017).

15. Совершенствование буровзрывных работ на предельном контуре карьера / С.Н. Жариков, И.Н. Тимофеев, Э.В. Гуленков, В.К. Бушков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2018. – № 1. – С. 48 – 55. - DOI: 10.21440/0536-1028-2018-1-48-55.