

УДК 622.831.32

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН СРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ: ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ\*



**И. Ю. РАСКАЗОВ**,  
директор, д-р техн. наук,  
adm@igd.khv.ru,  
Институт горного дела  
ДВО РАН,  
Хабаровск, Россия



**В. А. ПЕТРОВ**,  
зам. директора, член-корр. РАН,  
Институт геологии рудных  
месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН,  
Москва, Россия



**А. В. ГЛАДЫРЬ**,  
старший научный сотрудник,  
Институт горного дела ДВО РАН,  
Хабаровск, Россия



**Д. В. ТЮРИН**,  
главный маркшейдер,  
ПАО «ППГХО»,  
Краснокаменск, Россия

### Введение

Крупномасштабная и интенсивная техногенная деятельность, к которой относится выемка и перемещение больших объемов горных пород при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, оказывает значительное влияние на естественное напряженно-деформированное состояние верхней части земной коры и часто приводит к активизации геодинамических процессов в этих районах.

Проявлением геодинамической активизации являются горно-тектонические удары, техногенная и наведенная сейсмичность, а также другие опасные геодинамические явления, прогнозирование которых представляет собой актуальную и одновременно весьма сложную проблему [1–6]. Это обусловлено многофакторностью условий и причин этих опасных явлений, многообразием горно-геологических и горнотехнических характеристик исследуемых объектов, неоднородностью напряженно-деформированного состояния и значительными вариациями физико-механических свойств массивов горных пород, изменяющихся при интенсивном техногенном воздействии. Надежный прогноз таких катастрофических событий затруднен еще и потому, что

*Рассмотрены особенности динамических проявлений горного давления и пути их решения на подземных рудниках ОАО «ППГХО». Для надежного прогнозирования и предотвращения опасных геодинамических явлений в районе Стрельцовского рудного поля создан геодинамический полигон, в состав которого входят современные измерительные комплексы. С применением средств геодинамического полигона выявлены важные закономерности поведения удароопасного массива горных пород и обоснован показатель оценки его состояния. В условиях проявления техногенной сейсмичности при усложнении геомеханических и гидрологических условий отработки месторождений требуется дальнейшее развитие методов и средств геодинамического полигона Стрельцовского рудного поля, установка дополнительных элементов многоуровневой системы геомеханического мониторинга на участках, в которых прогнозируются опасные геодинамические проявления и обоснование их надежных предвестников.*

**Ключевые слова:** горные удары, техногенная сейсмичность, геодинамика, тектоническая структура, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород, геомеханический мониторинг, геодинамический полигон.

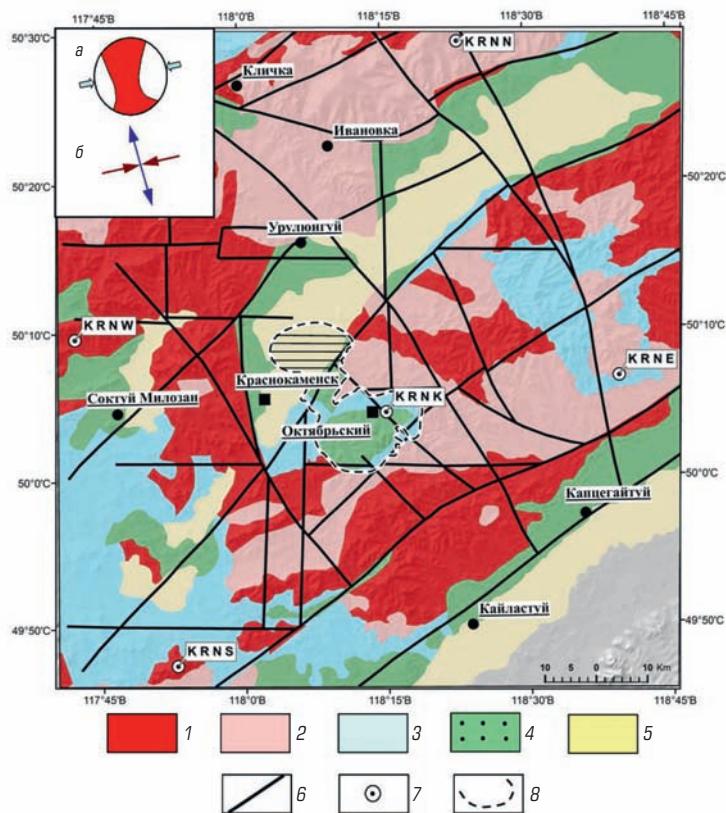
**DOI:** 10.17580/gzh.2018.07.02

поведение предельно напряженного массива горных пород, расчлененного тектоническими нарушениями, породными контактами, и содержащего горные выработки различных форм и размеров, далеко не всегда может быть описано с помощью известных классических подходов.

Проблема снижения риска техногенных катастроф актуальна для регионов Дальнего Востока и Забайкалья, где ведутся крупномасштабные горные работы. К числу предприятий с интенсивной добычей полезных ископаемых относится ПАО «ППГХО», которое отрабатывает подземным способом урановые месторождения Стрельцовского рудного поля (СРП) в Юго-Восточном Забайкалье [7]. В настоящее время массив горных пород рудного поля в значительной степени нарушен горными работами. Отработку месторождений ведут четыре подземных рудника, на которых горные работы достигли глубин 500–900 м. На них зарегистрирован весь спектр динамических проявлений горного давления, вплоть до сильных и разрушительных горных ударов [8].

Высокая интенсивность горных работ на рудниках объединения привела к формированию обширной зоны техногенной нарушенности геосреды. Это явилось одной из причин активизации

\* В исследованиях принимали участие П. А. Аникин, Б. Г. Саксин, Д. И. Цой, Д. С. Мигунов (ИГД ДВО РАН); Г. И. Долгих, С. Г. Долгих, В. А. Швец (ТОИ ДВО РАН); В. В. Полузков, С. А. Устинов, В. А. Минаев, А. Б. Лексин (ИГЕМ РАН); В. В. Погорелов, Ю. Л. Ребецкий (ИФЗ РАН); В. А. Саньков, С. В. Ашурков, А. В. Парфеев, А. В. Лухнев (ИЗК СО РАН); А. Н. Власов, Д. Б. Волков-Белгородский (ИПРИМ РАН); С. В. Лукичев, А. А. Козырев, О. В. Наговицын, И. Э. Семенова (ГПИ КНЦ РАН); А. Н. Шабаров, К. В. Морозов (СПбГУ); сотрудники ИНИТУ (Иркутск).



**Рис. 1. ГИС-проект геологических формаций и каркаса разрывных нарушений района Стрельцовского рудного поля:**

1 – AR-PR1 – гранитоиды и магматиты; 2 – PZ2-MZ – гранитоиды; 3 – MZ – вулканогенно-осадочные комплексы; 4 – К – осадочно-вулканогенные комплексы; 5 – N-Q – осадки; 6 – основные зоны разломов; 7 – пункты GPS-геодезии; 8 – контур урановмещающей Стрельцовской кальдеры с ее погруженной (заштриховано) под впадиной Сухой Урулюнгуй частью.

На врезке: установленный специалистами ИЗК СО РАН средний механизм землетрясений (а) и ориентировка (б) осей главных напряжений сжатия (сходящиеся стрелки) и растяжения (расходящиеся стрелки). Скорости современных горизонтальных движений и относительных деформаций геодезической сети определены на GPS-пунктах в международном отсчетном основании ITRF2008 в 95%-ном доверительном интервале (данные за 2011–2015 гг.)

геодинамических процессов в массиве горных пород, вмещающем отрабатываемые месторождения. На месторождениях ПАО «ППГХО» в последние годы наблюдаются проявления техногенной сейсмичности, регистрируемые не только в подземных горных выработках, но и на поверхности.

Проявления горного давления на глубоких горизонтах месторождений протекают на фоне высокой современной геотектонической активности региона. Она обусловлена тем, что положение Тулукуевской вулканотектонической структуры, в состав которой входит Стрельцовская кальдера с одноименным рудным полем, определяется пересечением глубинных трансблоковых меридиональных, широтных, северо-восточных и северо-западных разломов (рис. 1), где в разные геологические эпохи концентрировались тектономагматические события и динамические явления, в том числе сейсмогенные [9, 10]. Положение района в пределах планетарного Монголо-Охотского подвижного пояса определяет современную повышенную сейсмическую активность геологических структур и неоднородность напряженно-деформированного состояния породных массивов.

Однако этот тектонически-активный район Юго-Восточного Забайкалья до сих пор является недостаточно изученным, а постоянные наблюдения за протеканием сейсмических и деформационных процессов до недавнего времени практически не проводились. Для этой территории необходимы комплексные исследования по изучению геодинамической и сейсмической обстановки, учет которой позволяет точнее оценивать характер и параметры поля тектонических напряжений, особенно в районе интенсивного ведения горных работ, и принятия обоснованных мер по снижению геодинамического риска.

Эффективными инструментами для понимания разномасштабных природных и техногенных процессов и последующего построения адекватных моделей долгосрочного прогнозирования состояния геологической среды являются геодинамические полигоны, представляющие собой специальным образом выбранные территории (участки массивов горных пород), в пределах которых проводится комплекс регулярных астрономо-геодезических, спутниковых, сейсмических, геофизических, геологических и целый ряд других наблюдений, нацеленных на отслеживание деформационных процессов в верхней части земной коры [11, 12]. На геодинамических полигонах, в зависимости от решаемых задач, определяются современные горизонтальные и вертикальные перемещения разномасштабных (разноранговых) структурных элементов земной коры и их параметры (направление, абсолютная величина, скорость, фокальные механизмы в очаговых зонах и т. п.) для реконструкции современного поля напряжений. С этой целью применяют комплекс методов, основными из которых являются: геодезические измерения, GPS-контроль, сейсмологические и сейсмодеоформационные наблюдения [13], реконструкция неотектонических напряжений с помощью морфокинематического анализа разрывной тектоники, численное моделирование геомеханических процессов и т. д. По результатам исследований на геодинамических полигонах осуществляют районирование территории по изученным параметрам и их соотношениям, определяют аномальные (опасные) участки, выявляют закономерности формирования очагов землетрясений и крупных сейсмических (в том числе техногенных) событий для совершенствования методов их прогнозирования.

**Методы и измерительные средства геодинамического полигона СРП**

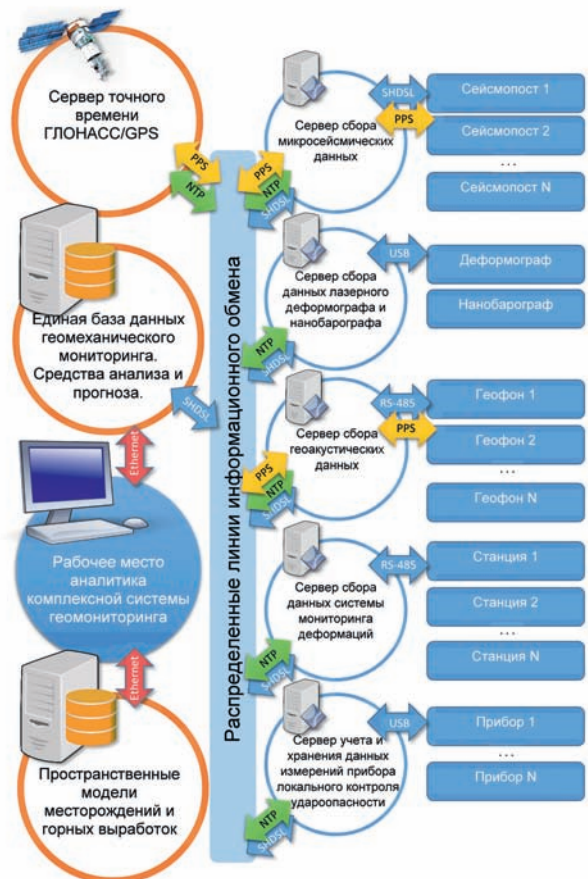
Сложные горно-геологические и геомеханические условия разработки месторождений СРП обусловили необходимость ре-

шения проблем предотвращения опасных проявлений горного давления. В связи с этим в период 2010–2014 гг. была реализована комплексная программа НИОКР, инициированная группой сотрудников академических институтов при полной поддержке руководства и специалистов ПАО «ППГХО». Целью программы являлось создание на СРП многоуровневой системы комплексного геодинамического мониторинга (геодинамического полигона), которая объединяла бы целый ряд методов и измерительных комплексов в единую интегрированную наблюдательную сеть [14]. Результаты НИОКР по теме «Геодинамический полигон Стрельцовского рудного поля» были определены в качестве инновационного продукта ГК «Росатом» по направлению «Производство горных работ на рудниках» [15].

В настоящее время в состав геодинамического полигона входят [14, 16, 17]:

- многоканальная система сейсмоакустического контроля горного давления Prognoz-ADS (АСКГД), позволяющая регистрировать и определять параметры АЭ-событий энергией от 10 до 10<sup>4</sup> Дж в частотном диапазоне 0,5–12 кГц (на пяти горизонтах месторождения Антей установлено 35 приемных преобразователей);
- многоканальная система микросейсмического мониторинга Prognoz-S (АШСКГД), контролирующая участок массива горных пород объемом более 12 км<sup>3</sup> и регистрирующая сейсмоакустические события с энергией до 107 Дж в частотном диапазоне от 10 до 1000 Гц (в пределах СРП установлено 12 сейсмопавильонов на горизонтах 5–14);
- система деформационного мониторинга СМД (целики, места возможных деформаций);
- портативный прибор геоакустического контроля удароопасности Prognoz-L (локальная оценка состояния краевых частей массива горных пород);
- лазерная сканирующая система FARO FOCUS-3D (наблюдательные станции деформационного мониторинга на горизонтах 11–13 подземного уранового рудника № 1 (ПУР-1));
- станок kernового бурения DIAMEK-232 (метод исследования дискования керна является базовым);
- лазерный деформометр, позволяющий измерять уровень деформации земной коры в частотном диапазоне от 0 до 1000 Гц, и нанобарограф (оба прибора установлены в подземном павильоне на горизонте 4 ПУР-1);
- региональная сеть GPS-наблюдений (территория Юго-Восточного Забайкалья);
- аналитический программный комплекс математического моделирования напряженно-деформированного состояния горных пород Sigma GT и тектонофизического моделирования на платформе ArcGIS 10 с модулем ArcGIS 3D-Analyst (региональный прогноз сейсмогеодинамической активности и кинематики разломных зон).

Технические средства геодинамического полигона СРП имеют различную базу измерений и обеспечивают эффективную регистрацию и углубленный анализ широкого спектра изменяющихся в пространстве и во времени параметров геофизических волновых полей (геоакустических, микросейсмических, деформацион-



**Рис. 2. Структурная схема комплексной интеграции систем геодинамического полигона СРП**

ных и др.). Применяемые системы и измерительные комплексы интегрированы в единую наблюдательную сеть.

Процесс интеграции предполагает (рис. 2):

- включение в систему информационного обмена (используются интерфейсы и протоколы USB, RS-485, SHDSL со скоростью передачи до 15,2 Мбит/с);
- обеспечение ведения единого времени на всех системах, входящих в геодинамический полигон (реализованные технические решения обеспечивают точность хода системных часов на каждом из серверов сбора данных не менее 15 мс);
- накопление данных мониторинга систем геодинамического полигона в единой базе данных;
- осуществление возможности отображения и анализа данных мониторинга систем геодинамического полигона с помощью единого программного комплекса.

Основной интегрирующей платформой геодинамического полигона СРП выступает программный комплекс Mineframe, предназначенный для комплексного решения широкого спектра горно-геологических и технологических задач [18]. Трехмерное графическое ядро, лежащее в основе программных средств системы, позволяет работать с моделями объектов в многооконном режиме и предоставляет широкие возможности управления способами отображения и редактирования объектов горной технологии.

**Результаты и перспективы развития комплексного геодинамического мониторинга**

Выполняемые на рудниках ПАО «ППГХО» геомеханические исследования с применением средств геодинамического полигона СРП показали свою эффективность. По результатам комплексного геодинамического мониторинга в рудничном поле заблаговременно выделяются потенциально удароопасные участки, в пределах которых после дополнительной оценки методами локального контроля состояния массива горных пород выполняют необходимые мероприятия по разгрузке массива.

По результатам анализа и обобщения представительного объема экспериментальных данных разработан комплексный показатель удароопасности, учитывающий выявленные признаки изменения геомеханического состояния геосреды при подготовке опасных горно-динамических явлений. Он определяется как отношение нормированных значений суммарной энергии и числа АЭ-событий в акустически активной зоне к произведению нормированных значений расстояния, времени между последующими событиями и скорости миграции центра зоны акустической активности. Использование комплексного показателя «удароопасности» позволяет обеспечить высокую достоверность прогноза опасных динамических проявлений горного давления в условиях глубоких горизонтов месторождения Антей.

Применяемые методы и средства в последние годы в целом позволили снизить число динамических проявлений горного дав-

ления при ведении горных работ на рудниках ПАО «ППГХО», но полностью не решают проблему геодинамического риска. В пределах СРП сохраняется достаточно сложная геомеханическая обстановка, связанная с ростом глубины разработки и увеличением выработанных пространств. В условиях интенсивного техногенного воздействия наблюдается активизация геодинамических процессов в районе месторождений; на это указывают наблюдающиеся подвижки по швам тектонических нарушений, толчкообразное деформирование массива и проявления техногенной сейсмичности.

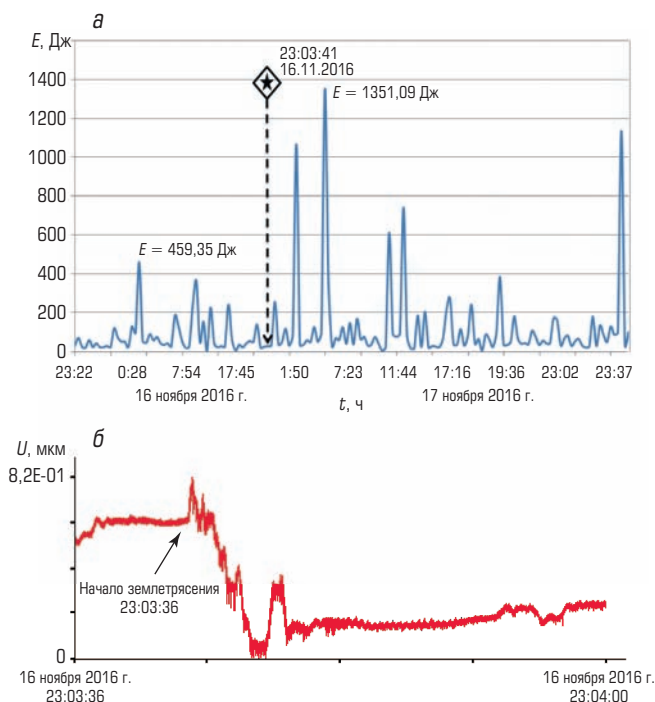
Высокий уровень напряженного состояния разрабатываемого массива и потенциальная опасность проявления техногенной сейсмичности с тяжелыми последствиями подтверждают результаты сейсмодеформационного мониторинга на геодинамическом полигоне СРП. Установлено влияние сейсмических волн от сильных землетрясений на деформационное поле нарушенного горными работами массива горных пород, в результате которого в 2–2,5 раза и более увеличивается число сейсмоакустических импульсов в зоне опорного давления с одновременным ростом их энергии (рис. 3). Сейсмические волны выступают в роли триггера и инициируют процесс перераспределения напряжений в блочном массиве горных пород и его структурную перестройку.

С началом мокрой консервации отработанного рудника, который находится в непосредственной близости от удароопасного участка СРП, прогнозируется интенсификация процесса геодинамической активизации с негативными последствиями. Мировая горная практика свидетельствует, что увеличение водопритока в отработанное пространство приводит к снижению трения по границам тектонических блоков, способствуя внезапным подвижкам с выделением значительной энергии и проявлению техногенной сейсмичности.

В таких условиях требуется дальнейшее развитие методов и средств геодинамического полигона СРП, установка дополнительных элементов многоуровневой системы геомеханического мониторинга на участках, на которых прогнозируются опасные геодинамические проявления и обоснование их надежных предвестников. Для этого необходимо проведение специальных исследований по совершенствованию методической и технической базы геодинамического полигона и разработке методики построения схем распределения сейсмотектонических режимов (стресс-тензоров) для внутри- и околокальдерного геопространства по данным структурно-кинематического анализа разломно-трещинных зон, с целью определения областей первоочередного контроля и обоснования региональных мер по управлению горным давлением. Развитие геодинамического полигона СРП в усложняющихся геомеханических и гидрологических условиях позволит обеспечить допустимый уровень геодинамических рисков при разработке месторождений ПАО «ППГХО».

**Заключение**

Для решения проблемы предотвращения опасных проявлений горного давления на подземных рудниках ПАО «ППГХО» в районе СРП создана многоуровневая система комплексного геодинами-



**Рис. 3. Изменение сейсмоакустической активности массива месторождения Антей до и после землетрясения у островов Рюкю в Японии 16 ноября 2016 г. (а) и участок записи лазерным деформографом деформационных волн от землетрясения магнитудой 4,7 (б)**

ческого мониторинга (комплексный геодинамический полигон), в состав которой входит ряд взаимодополняемых методов и технических средств, обеспечивающих эффективную регистрацию и углубленный анализ широкого спектра изменяющихся в пространстве и во времени параметров геофизических волновых полей (геоакустических, микросейсмических, деформационных и др.).


Применяемые системы и измерительные комплексы интегрированы в единую наблюдательную сеть, в которой реализованы технологии высокоскоростной передачи данных (до 15,2 Мбит/с и более), поддержания единого времени с расхождением не более 15 мс, хранения и представления данных мониторинга в программной среде Mineframe.

По результатам сейсмодинамического мониторинга на геодинамическом полигоне СРП установлено увеличение в 2–2,5 раза и более числа и энергии сейсмоакустических импульсов в разрабатываемом массиве горных пород под влиянием сейсмических волн от сильных землетрясений, что указывает на высокий уровень его напряженного состояния и потенциальную

опасность проявления техногенной сейсмичности. В этих условиях необходимы углубленные исследования, направленные на совершенствование методической и технической базы геодинамического полигона, разработку методов прогнозирования опасных геодинамических явлений и снижения геодинамического риска при отработке стратегических ресурсов Стрельцовского рудного поля.

*Работа выполнена на средства Российского научного фонда (грант № 16-17-00018) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН 1.48П «Месторождения стратегических и высокотехнологичных металлов Российской Федерации: закономерности размещения, условия формирования, инновационные технологии прогноза и освоения».*

### Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 7, pp. 17–21  
DOI: 10.17580/gzh.2018.07.02

#### Geodynamic test site in the Streltsovsky ore field: Practice and prospects

##### Information about authors

I. Yu. Rasskazov<sup>1</sup>, Director, Doctor of Engineering Sciences, adm@igd.khv.ru

V. A. Petrov<sup>2</sup>, Head of Laboratory, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

A. V. Gladyr<sup>1</sup>, Researcher

D. V. Tyurin<sup>3</sup>, Chief Surveyor

<sup>1</sup> Institute of Mining, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry – IGEM, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Priargunsky Mining and Chemical Works, Krasnokamensk, Russia

##### Abstract

The article considers the features of dynamic phenomena due to rock pressure and ways of their determination in underground mines of Priargunsky Mining and Chemical Works. For reliable forecasting and prevention of hazardous geodynamic phenomena within the Streltsovsky ore field (SOF), a geodynamic test site has been created. The test site is equipped with modern measuring systems of various spacing providing effective recording and comprehensive analysis of a wide range of geophysical wave field parameters changing in space and time (geoacoustic, microseismic, deformation, etc.). Using the geodynamic site options, important regularities in the behavior of rockburst-hazardous rock mass are identified, and the rock mass indicator is substantiated. Under conditions of induced seismicity in complicated geomechanical and hydrological situations of mining, it is necessary to continue development of methods and means for the SOF geodynamic test site, to add multi-level geomechanical monitoring system with new elements in the areas subject to hazardous geodynamic phenomena and to validate reliable precursors of such events.

The authors appreciate participation of P. A. Anikin, B. G. Saksin, D. I. Tsoi, D. S. Migunov (Institute of Mining, FEB RAS); G. I. Dolgikh (Pacific Oceanological Institute, FEB RAS); V. V. Poluektov, S. A. Ustinov, V. A. Minaev, A. B. Leksin (IGEM RAS); V. V. Pogorelov, Yu. L. Rebetsky (Institute of Physics of the Earth, RAS); V. A. Sankov, S. V. Ashurkov, A. V. Parfeevets, A. V. Lukhnev (Institute of the Earth's Crust, SB RAS); A. N. Vlasov, D. B. Volkov-Berlgorodsky (Institute of Applied Mechanics RAS); S. V. Lukichev, A. A. Kozyrev, O. V. Nagovitsyn, I. E. Semenova (Mining Institute, Kola Science Center, RAS); A. N. Shabarov, K. V. Morozov (Saint-Petersburg Mining University) and fellows of the Irkutsk National Research Technical University, in this study.

The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 16-17-00018, and by the Presidium of the RAS in the framework of the Fundamental Research Program 1.48P: Deposits of strategic and high-tech metals in the Russian Federation – Location, formation, innovative technologies of prediction and management.

**Keywords:** rock bursts, induced seismicity, geodynamics, tectonic structure, stress–strain state, rock mass, geomechanical monitoring, geodynamic test site, integrated observation network.

##### References

- Adushkin V. V., Turuntaev S. B. Anthropogenic Seismicity: Induced and Trigger, Moscow : IDG RAN, 2015. 364 p.
- Melnikov N. N. (Ed.). Mining-Induced Seismicity: Model of Sources, Prediction, Prevention. Apatity : KNTS RAN, 2004. Part I. 224 p.
- Marcak M., Mutke G. Z. Seismic activation of tectonic stresses by mining. *Journal of Seismology*. 2013. Vol. 17, No 4. pp. 1139–1148.
- Snelling P. E., Godin L., McKinnon St. D. The role of geologic structure and stress in triggering remote seismicity in Creighton Mine, Sudbury, Canada. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2013. Vol. 58. pp. 166–179.
- Li T., Cai M. F., Cai M. A review of mining-induced seismicity in China. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2007. Vol. 44, Iss. 8. pp. 1149–1171.
- Ortlepp W. D. Observation of mining-induced faults in an intact rock mass at depth. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2000. Vol. 37, Iss. 1–2. pp. 423–436.
- Ishchukova L. P. Uranium Deposits of the Streltsovsky Ore Field in the Transbaikalian Area. Irkutsk, 2007.
- Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Petrov V. A., Prosekin B. A. Geomechanics and seismicity of the Antey deposit rock mass. *Journal of Mining Science*. 2012. Vol. 48, No. 3. pp. 405–412.
- Petrov V. A., Sim L. A., Nasimov R. M., Shchukin S. I. Fault tectonics and neotectonic stresses in the Streltsovsky ore field in the Transbaikalian area. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2010. Vol. 52, No. 4. pp. 310–320.
- Petrov V. A., Leksin A. B., Pogorelov V. V., Rebetsky Yu. L., Sankov V. A., Ashurkov S. V., Rasskazov I. Yu. Geodynamic modeling of ore-bearing geological structures (in terms of the Streltsovsky ore field). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2017. Vol. 59, No. 3. pp. 173–200.
- Bulanche Yu. D., Lilienberg D. A. (Eds.). Integrated Geodynamic testing Sites: Research procedure and Results. Moscow : Nauka, 1984. 143 p.
- Pustuev A. L., Konovalova J. P., Martemyanov A. A. Principles of construction of geodynamic polygons in a large-scale subsurface. *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 1. pp. 32–36.
- Methods and Systems of Seism-Deformation Monitoring of Induced Earthquakes and Rock Bursts. Novosibirsk : SO RAN, 2009–2010.
- Rasskazov I. Yu., Gladyr A. V., Anikin P. A., Svyatetskiy V. S., Prosekin B. A. Development and modernization of the control system of dynamic appearances of rock pressure on the mines of Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union JSC. *Gornyi Zhurnal*. 2013. No. 8(2). pp. 9–14.
- ROSATOM Innovations: New Reaches of Science and Technology in 2014. Moscow : MEI, 2014. 30 p.
- Gladyr A. V., Migunov D. S., Anikin P. A., Kalinov G. A., Miroshnikov V. I. Structure of equipment of the Streltsovsky ore field testing site. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2017. No. 11. Special Issue 24. Geomechanical and Geotechnical Problems of Mineral Mining in the North. pp. 329–337.
- Rasskazov I. Yu., Dolgikh G. I., Petrov V. A., Lugovoi V. A., Dolgikh S. G., Saksin B. A., Tsoi D. I. Laser strainmeter in integrated geodynamic monitoring within Streltsov ore field. *Journal of Mining Science*. 2016. Vol. 52, No. 6. pp. 1052–1059.
- Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V., Semenova I. E., Belogorodtsev O. V. Mine planning and design in MINEFRAME. *Gornyi Zhurnal*. 2015. No. 8. pp. 53–58. DOI: 10.17580/gzh.2015.08.12