

УДК 622.83+ 530.1(075.8)

О.А. Хачай, О.Ю. Хачай, В.К. Климко, О.В. Шипеев

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ
ОСОБЕННОСТИ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СОСТОЯНИЯ УДАРООПАСНОГО МАССИВА ГОРНЫХ
ПОРОД, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПО ДАННЫМ ШАХТНОГО
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО КАТАЛОГА**

Проанализирована сейсмологическая детальная шахтная информация об пространственно-временных колебательных особенностях свойств состояния удароопасного массива горных пород с позиции теории открытых динамических систем. Выявлены некоторые закономерности отклика массива на сильные техногенные воздействия, предварявшие один наиболее сильный горный удар на Таштагольском руднике. Предложен новый метод обработки сейсмологической информации в реальном масштабе времени, которую можно проводить непосредственно на руднике для оценки изменения состояния удароопасного массива при его отработке.

Ключевые слова: массив горных пород, сейсмологический каталог, динамические системы.

Анализ обширного банка данных сейсмических записей толчков и горных ударов, зарегистрированных сеймостанцией “Норильск” на рудниках Норильского месторождения с использованием предложенного ранее метода анализа [1] позволил обнаружить пульсирующий режим сейсмозергвыделения из напряженных участков рудного и породного массивов с движением фронтов индуцированной сейсмичности по типу колеблющегося маятника, выявлен диагностический признак перехода контролируемых участков породного массива в удароопасное состояние на примере рудников Талнахско-Октябрьского месторождения [2]. В развитие результата [3] были проведены исследования по изучению переходного процесса перераспределения напряженного и фазового состояний массива между сильными техногенными воздействия-

ми на Таштагольском подземном руднике [4]. В качестве изучаемых параметров сейсмологического мониторинга рассмотрены значения суммарной энергии, выделяемой массивом конкретного блока отработки в виде динамических явлений после каждого массового взрыва $\lg(E_v)$, значения поглощаемой массивом этого же блока энергии $\lg(E_p)$ и максимального объема шахтного поля, где происходят динамические явления от данного массового взрыва $\lg(V_{\max})$ – данные сейсмического каталога. Т.е. проанализирован переходный процесс энергосыделения массивом в виде отклика на техногенное воздействие – массовый или технологический взрыв для осуществления той или иной технологической процедуры (подсечка, отрезка, компенсация, обрушение) в блоке отработки. Проведенный анализ данных сейсмологического детального шахтного каталога позволил

сделать следующие выводы: - при отработке конкретного блока массива весь массив шахтного поля испытывает изменение напряженно-деформированного и фазового состояний от взрыва к взрыву; - количество поглощаемой и отдаваемой массивом энергии не равно друг другу и поэтому в массиве происходит накопление энергии; - процесс отдачи энергии происходит с запаздыванием и сильно зависит от градиента поглощаемой энергии от массовых взрывов; - в массиве возникают зоны динамического затишья; эти зоны следует отслеживать с помощью данных сейсмологического мониторинга, используя предложенные нами параметры; - после выхода из минимума затишья необходимо в течение недели или двух недель до момента технологического обрушения проводить пространственно-временной активный электромагнитный или сейсмический мониторинг по выявлению зон потенциальной неустойчивости второго ранга; - эти зоны могут быть после массового взрыва, приуроченного к обрушению источниками сильных динамических явлений; - введение в систему отработки предлагаемого комплексного пассивного и активного геофизического мониторинга, нацеленного на изучение переходных процессов перераспределения напряженно-деформированного и фазового состояний [4-6] может способствовать предотвращению катастрофических динамических проявлений при отработке глубокозалегающих месторождений. Эти выводы сделаны по анализу сейсмологических данных пространственно связанных с массивом конкретного блока отработки. Однако анализ сейсмологических данных показывает, что сильные динамические явления (горные удары) могут происходить в более широкой области, нежели непосредственно

блок отработки и могут быть инициированы с запаздыванием во времени.

В работах [7-8] впервые проанализирована сейсмологическая детальная шахтная информация с позиции синергетики и теории открытых динамических систем. Используя качественный анализ фазовых траекторий [9] показаны повторяющиеся закономерности, заключающиеся в переходах состояния массива из хаотического в упорядоченное и обратно. Сформулирована новая физическая постановка задачи для моделирования применительно к массивам горных пород, находящихся под техногенным воздействием. Если в предыдущих постановках общей теории эволюции открытых динамических систем [10, 11] исследовалась задача о переходе системы от упорядоченного состояния к хаосу, то в нашем случае, для нашей системы хаос заданного уровня является с одной стороны устойчивым состоянием для системы. С другой стороны этот параметр является управляющим для перехода системы в состояние с другим параметром, являющимся для нее катастрофическим. После реализации этой катастрофы система вновь создает область хаоса с параметром, близким по значению к первому. Этот процесс отличается от бифуркационного, т.к., в пространстве изученных нами распределений фазовых траекторий существует притягивающая точка в плоскости выделенная энергия и производная по времени от логарифма выделенной энергии.

Настоящая работа посвящена дальнейшему изучению детального сейсмического каталога с целью выявления пространственно-временных колебательных особенностей синергетических свойств удароопасного массива при его отработке взрывными технологиями

Для реализации этого исследования были использованы данные сейсмического каталога Таштагольского подземного рудника за три года с июня 2006 г. по июнь 2009 г. В качестве данных использованы пространственно-временные координаты всех динамических явлений-откликов массива, происшедших за этот период внутри шахтного поля, а также взрывов, произведенных для отработки массива, и значения, вычисленные по сейсмическим данным энергии, зафиксированным сейсмической станцией. В нашем анализе все шахтное поле было разделено на две половины: выработки северо-западного участка, районы стволов Западная и Ново-Капитальная и выработки с 0 по 14 обозначены нами, как северный участок, выработки с 15 по 31 и южный вентиляционный и полевой штреки, ствол Южной шахты обозначены как южный участок. Учитывались все события-отклики с горизонтов -140 м, -210 м, -280 м, -350 м. Взрывы производились на юго-восточном участке отработки шахты на горизонтах +70 м, 0 м, -70, на остальных участках – на перечисленных выше горизонтах.

Далее каталог был разделен на две части: северную и южную по событиям откликам и по взрывам, происшедшим в северной и южной части шахтного поля. Между взрывами суммировалась выделенная энергия динамических откликов массива соответственно южной и северной частей.

На рис. 1. приведены графики распределения логарифма поглощенной и выделенной энергии массивом за период с 03.06.2006г-13.01.2007 г. (период I). Очевидна неравномерность проведения взрывов в южной и северной частях. Есть периоды, когда происходит частая перемежаемость

взрывов, когда они происходят то в северной, то в южной части шахтного поля. Однако есть периоды, когда взрывы происходят только в северной части (первые полтора месяца рассматриваемого периода), затем – только в южной части (следующие полтора месяца, либо в четвертой части за исключением последних недель рассматриваемого периода). Несмотря на это имеет место неравномерный по времени отклик массива в виде энерговыделения во время динамических явлений. Так, наибольшее количество энергии выделилось в северной части шахтного массива за период между взрывами, происшедшими также на севере с 18.06.2006 г. по 30.07.2006 составило $3.08 \cdot 10^6$ дж., в южной части за период между взрывами, происшедшими на юге, с 17.12-24.12.2006 – $1.8 \cdot 10^6$ дж. и с 24.12.-30.12.2006г. – $3.2 \cdot 10^6$ дж. Коэффициенты корреляции $R(E_p, E_v)(A)$, $R(E_p, E_v)(B)$, $R(E_v, E_v)(A, B)$ между распределениями энергии поглощенной и выделенной массивом в северной и южной частях и между выделенной энергией северной и южной частью массива за один и тот же период времени меньше, чем 0.4 (таблица), что свидетельствует о более сложной, чем линейной зависимости выделяемой массивом энергии от времени.

На рис.2. приведены графики распределения логарифма поглощенной и выделенной энергии массивом за период с 14.01.2007-17.05.2008г. (период II). Аналогично первому периоду имеет место неравномерность проведения взрывов в южной и северной частях. Есть периоды, когда происходит частая перемежаемость взрывов, когда они происходят то в северной, то в южной части шахтного поля. Однако есть периоды, когда взрывы происходят только в северной

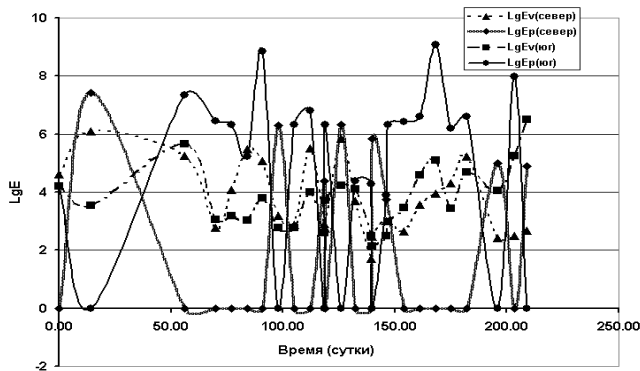


Рис. 1. Распределение поглощенной и выделенной массивом всего шахтного поля энергии за период 03.06.2006 г.-13.01.2007 г.

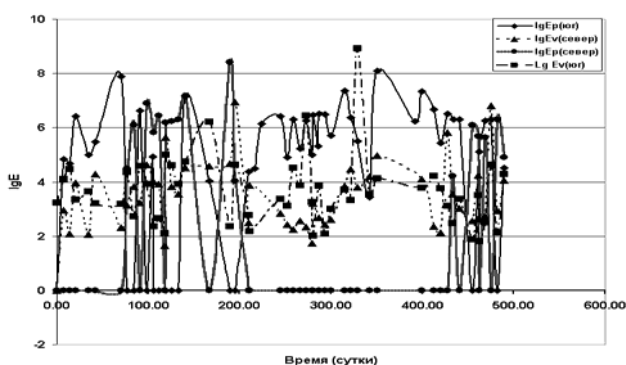


Рис. 2. Распределение поглощенной и выделенной массивом всего шахтного поля энергии за период 13.01.2007г.-17.05.2008г.

части, затем – только в южной части. Но эти промежутки продолжительнее, чем за период I, (рис. 1.) При этом неравномерный по времени отклик массива в виде энерговыделения во время динамических явлений обладает большей амплитудой, чем в предыдущем периоде I. Следует отметить, что именно самый сильный горный удар энергией $8.15 \cdot 10^8$ дж. произошел именно в продолжительный период, когда взрывы происходили только в южной части шахты. При этом этому удару предшествовал удар более слабый, но также в южной час-

ти шахтного поля. Наибольшее количество энергии в северной части шахтного массива выделилось за период между взрывами, происходившими также на севере с 28.07. по 12.08.2007 г. составило $8.74 \cdot 10^6$ дж. Коэффициенты корреляции $R(E_p, E_v)(A)$, $R(E_p, E_v)(B)$, $R(E_v, E_v)(A, B)$ между распределениями энергии поглощенной и выделенной массивом в северной и южной частях и между выделенной энергией северной и южной частью массива за один и тот же период времени меньше, чем 0.2 (таблица), еще меньше, чем для первого периода что свидетельствует о более сложной и более нелинейной зависимости выделяемой массивом энергии от времени.

На рис. 3 приведены графики распределения логарифма поглощенной и выделенной энергии массивом за период с 24.05.2008-26.07.2009 г. (период III). Аналогично первому и второму периоду имеет место неравномерность проведения взрывов в южной и северной частях. Однако в отличие от предыдущих двух периодов здесь чаще происходит перемежаемость взрывов, когда они происходят то в северной, то в южной части шахтного поля. Даже в некоторых случаях они происходят одновременно и в северной и в южной части шахтного поля. Интересно отметить, что в этот период интенсивность энергии динамических откликов и не превышает $4 \cdot 10^5$ дж. Так в северной части шахтного поля про-

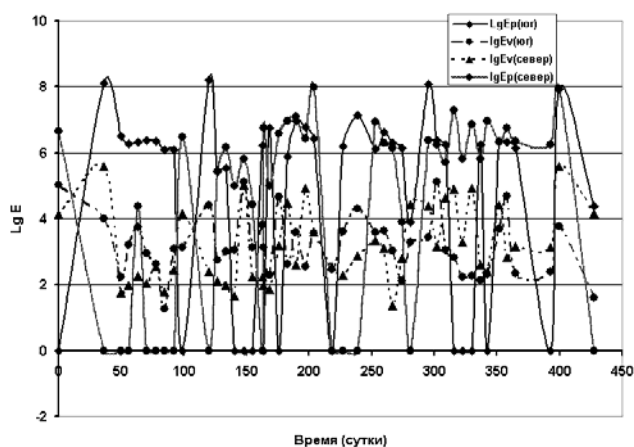


Рис. 3. Распределение поглощенной и выделенной массивом всего шахтного поля энергии за период 24.05.2008 г.-26.07.2009 г.

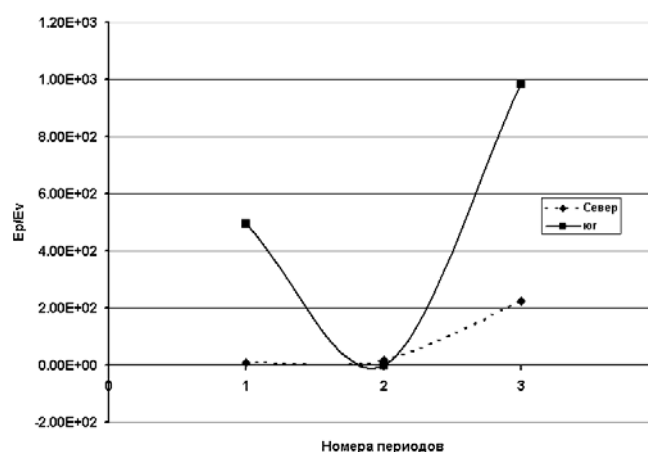
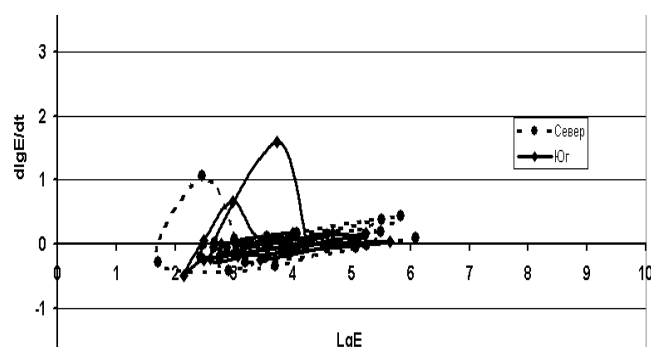


Рис. 4. Сопоставление степени активизации массива шахтного поля за три периода

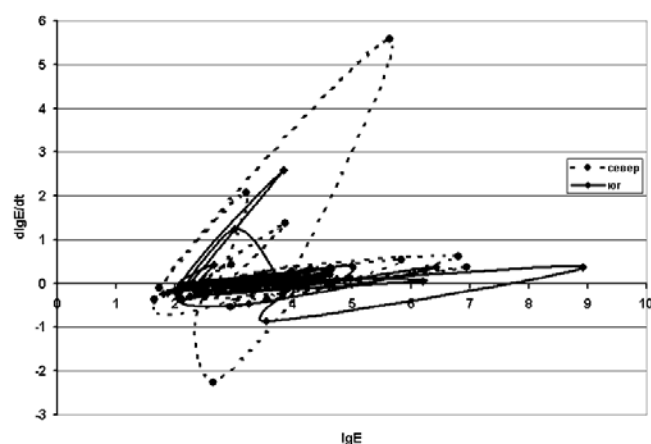
изошло дважды за периоды 28.06-26.07.2009г. и 24.05-29.06.2008 выделение энергии во время динамических явлений, равное $3.72 \cdot 10^5$ дж. В южной части одновременно с северным участком произошло выделение энергии, равное $1.03 \cdot 10^5$ дж. Коэффициенты корреляции $R(E_p, E_v)(A)$, $R(E_p, E_v)(B)$, $R(E_v, E_v)(A, B)$ между распределениями энергии поглощенной и выделенной массивом в северной и южной частях и между выделенной энергией северной и южной частью массива за один и тот же период времени меньше, чем 0.35 (таблица), больше, чем для второго периода, но меньше, чем для первого периода, что также свидетельствует о сложной и нелинейной зависимости выделяемой массивом энергии от времени.

На рис.4. проанализировано отношение суммарной поглощенной и выделенной энергии массивом за каждый период, рассмотренный нами. Из этой зависимости следует, что в массиве накапливается энергия, за исключением второго пе

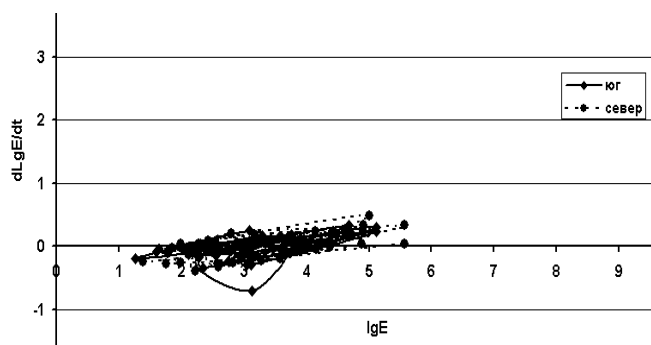
Период I						
Северная часть(A)		Южная часть(Б)		Коэффициенты корреляции		
$E_p(\text{дж})$	$E_v(\text{дж})$	$E_p(\text{дж})$	$E_v(\text{дж})$	$R(E_p, E_v)(A)$	$R(E_p, E_v)(B)$	$R(E_v, E_v)(A, B)$
$3.1 \cdot 10^7$	$3.1 \cdot 10^6$	$2.04 \cdot 10^9$	$4.11 \cdot 10^6$	0	0.3	0.34
Период II.						
$2.98 \cdot 10^8$	$1.67 \cdot 10^7$	$3.02 \cdot 10^8$	$8.2 \cdot 10^8$	-0.03	-0.12	-0.03
Период III						
$2.91 \cdot 10^8$	$1.3 \cdot 10^6$	$5.72 \cdot 10^8$	$5.81 \cdot 10^5$	0.3	-0.005	0.21



а



б



в

Рис 5. Фазовые диаграммы состояния массива южной и северной части шахтного поля: а - I период, б - II период, в - III период

риода, когда в южной части она была выделена массивом в виде разрушительного горного удара

одномоментно и сосредоточено локально. Кроме того колебательный процесс накопления энергии в южной части массива за эти три периода отличается от постепенного процесса накопления в северной части массива, что может свидетельствовать о большей неустойчивости именно южной части. Поэтому в южной части для более детального выявления готовящихся очагов выделения массивом энергии необходимо проводить активный электромагнитный мониторинг в рамках методики [5], продемонстрировавшей свою эффективность.

Фазовые диаграммы (рис. 5, а-в) отражают зависимость скорости выделения энергии массивом от неравномерности по времени оказываемого на него техногенного воздействия. Так в течение первого периода с 03.06.2006 г-13.01.2007 г. влияние этой неравномерности проявилось для южной части 27.08 2006 г. и 17.09.2006 г., в северной части 10.09.2006 г., однако интенсивность динамических явлений за этот период не превышала в обеих частях $5 \cdot 10^6$ Дж (рис. 5, а).

В течение второго периода с 14.01.2007 г.-17.05.2008 г. влияние неравномерности воздействия существенно увеличилось по сравнению с первым пе-

риодом особенно в северной части шахты и проявилось оно 13.05., 12.08 и 21.10. 2007 г., в южной части шахты также 21.10.2007 г. В этот же период динамические явления в южной особенно и в северной частях шахты значительно увеличились по интенсивности (рис. 5, б).

В течение третьего периода с 24.05.2008 - 26.07.2009 гг. этот эффект практически отсутствует в северной части шахты, в южной имеет место незначительное его влияние. Интенсивность динамических явлений не превышает 10^6 Дж. (рис. 5, в).

Заключение

Проанализирована сейсмологическая детальная шахтная информация с целью выявления пространственно-временных колебательных особенностей свойств состояния удароопасного массива горных пород с позиции теории открытых динамических систем. Как следует из полученных результатов анализа изменение состояния массива - уменьшение или увеличение его активизации происходит не зависимо от пространственного по-

ложения источника техногенного взрыва и с запаздыванием по времени. Для прогноза поведения массива, необходимо математически описать эту функцию запаздывания его активизации. Для этого потребуется комплексная информация, основанная на пассивном и активном сейсмическом и электромагнитном мониторинге. По данным шахтной детальной сейсмологической информации выявлены некоторые закономерности отклика массива на сильные техногенные воздействия, предварявшие один наиболее сильный горный удар на Таштагольском руднике. Представляет интерес выявить количественную зависимость активизации удароопасного массива от неравномерности техногенного воздействия в виде массовых и технологических взрывов. Предложен новый метод обработки сейсмологической информации в реальном масштабе времени, которую можно проводить непосредственно на руднике для оценки изменения состояния удароопасного массива при его обработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курленя М.В., Опарин В.Н., Еременко А.А. Об одном методе сканирования шахтной сейсмологической информации // ДАН.- 1993.- Т.333 - №6.
2. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования. Новосибирск. Изд-во СО РАН. 2008г. С. 445.
3. Хачай О.А. Проблема изучения процесса перераспределения напряженного и фазового состояний массива между сильными техногенными воздействиями // Горный информационно-аналитический бюллетень. Изд-во МГТУ, Москва, 2006, №5, 109-115.
4. Хачай О.А., Хачай О.Ю. Теоретические подходы к обоснованию систем геофизического контроля состояния геологической среды при техногенном воздействии // Горный информационно-аналитический бюллетень МГТУ, №1, 2008, С.161-169.
5. Хачай О.А., Хачай О.Ю., Климко В.К., Шипеев О.В. Проблема пространственно-временного прогноза устойчивости удароопасных массивов при их отработке взрывными технологиями.// Горный информационно-аналитический бюллетень МГТУ, №3, 2008, С.121-129.
6. Hachay O.A., Khachay O.Yu.. Results of electromagnetic and seismic monitoring of the state of rock massive by use the approach of the open dynamical systems.// MPRG6. Thermo-hydro-mechanical coupling in stressed rock. EGU2009-137.
7. Hachay O.A. Synergetic events in geological medium and nonlinear features of wave propagation. // NP3.8/HS13.09 Solid Earth geocomplexity: surface

processes, morphology and natural resources over wide ranges of scale. EGU2009-3684.

8. *Хачай О.А., Хачай О.Ю., Климо В.К., Шипеев О.В.* Об использовании данных детального шахтного сейсмологического каталога для построения динамической модели эволюции состояния горного массива. // III Уральский Горнопромышленный форум, горное дело: технологии, оборудование, спецтехника. Официальный каталог. ИГД УрО РАН Геомеханика в горном деле

Тезисы конференции Екатеринбург. 2009. С.102-103.

9. *Чуличков А.И.* Математические модели нелинейной динамики. М.: Физматлит.- 2003.

10. *Малинецкий Г.Г.* Математические основы синергетики. М.: Изд-во ЛКИ.-2007.

11. *Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А.* Структуры и хаос в нелинейных средах. М.: Физматлит.- 2007. **КУБ**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 07-05-00149а и ИП УрО и СО РАН. «Землетрясения, горные удары, внезапные выбросы породы, угля и газа: механизмы формирования и критерии прогнозирования катастрофических событий» 2009-2011.

Коротко об авторах

Хачай О.А. – доктор физико-математических наук, ст. научный сотрудник, Институт геофизики УрО РАН, olga.hachay@r66.ru

Хачай О.Ю. – ассистент кафедры математического анализа и теории функций, Уральский государственный университет, khachay@mail.ru

Климо В.К. – кандидат технических наук, зам директора, Филиал ОАО ЕВРАЗхолдинга. Таштагольский подземный рудник, г.Таштагол.

Шипеев О.В. – кандидат технических наук, Филиал ОАО ЕВРАЗхолдинга. Таштагольский подземный рудник, г. Таштагол.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ			
СИРОТА Дмитрий Юрьевич	Совершенствование геоэлектрического метода прогноза зон концентрации напряжений и разрушения угольных пластов по измерениям поля на земной поверхности	25.00.16	к.т.н.