

О.А. Хачай, В.Н. Погребной, О.Ю. Хачай, М.Т. Малосиева

ПОДОБИЕ ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЫ ПРОЯВЛЕНИЙ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ «ВЗРЫВНОГО ТИПА» И ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УДАРООПАСНЫХ РУДНЫХ ШАХТАХ

Для объяснения причины проявления землетрясений «взрывного» характера предложена модель перераспределения литостатического давления при формировании сводовых (антиклинальных) структур земной коры. Показано, что в замковой части формируемой сводовой структуры литостатическое давление значительно увеличивается, а это приводит к резкому уменьшению объема горной породы («схлопывание»). В подзамковой же части происходит снятие литостатического давления, что приводит к механическому разрушению горной породы («взрыв»). Сделан вывод о том, что процессы «схлопывания» и «взрывного» разрушения горных пород, которые возникают при формировании сводовых структур и являются возможной причиной проявления землетрясений «взрывного» характера. При проведении электромагнитного мониторинга в удароопасных массивах горных пород, находящихся в результате отработки под интенсивным взрывным воздействием в локальных зонах неустойчивости в разрезе были обнаружены зоны дезинтеграции, объединенные по морфологии подобно сводовой структуре. Это может свидетельствовать о динамическом иерархическом подобии реакции геологической среды на подготовку динамических проявлений в виде землетрясений или горных ударов.

Ключевые слова: землетрясения взрывного типа, горные удары, удароопасные массивы, иерархическое подобие реакции, подготовка динамических проявлений.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-159-171

Введение

Определение основных параметров механизма очагов землетрясений является одной из важнейших задач сейсмологии. В настоящее время эта задача решается с использованием данных о первых вступлениях сейсмических Р-волн на станциях регистрации. Если очаг землетрясения окружен со всех сторон сейсмостанциями, то знаки первых вступлений располагаются особым образом в зависимости от типа очага. Они

выносятся на карту, представляющую собой стереографическую проекцию, и по характеру распределения знаков первых вступлений Р-волн определяется механизм очага [1, 2, 3, 4]. В случае простого сдвига сейсмостанции регистрируют в 2-х квадрантах положительные знаки первых вступлений (сжатия), а в 2-х других — отрицательные знаки первых вступлений (растяжения). Для наглядности картина распределения представлена на рис. 1, а. В других, более сложных

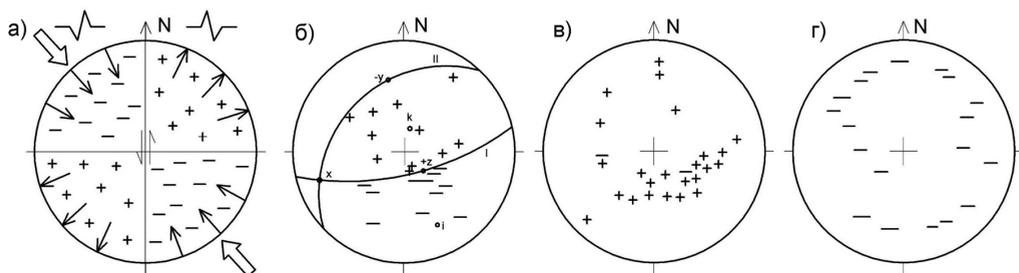


Рис. 1. Распределение знаков первых вступлений Р-волн на стереографической проекции для землетрясений с механизмами очагов разного типа: для землетрясений «сдвигового» типа (теоретическая модель) (а); для землетрясения 30.08.1957 г. ($\varphi = 39,3^\circ \text{N}$, $\lambda = 72,9^\circ \text{E}$), $M = 5,5$ (очаг «надвиго-взбросового» типа) [1] (б); для землетрясения 11.12.1969 г. ($\varphi = 41,5^\circ \text{N}$, $\lambda = 79,5^\circ \text{E}$), $M = 6,6$ (очаг «взрывного» типа) [1] (в); для землетрясения 01.04.1966 г. ($\varphi = 40,8^\circ \text{N}$, $\lambda = 72,7^\circ \text{E}$), $M = 3,5$ (очаг «взрывного» типа) [4] (г)

случаях (взбросо-сдвиг, сбросо-сдвиг, надвиг, нормальный сброс, нормальный взброс, надвиго-взброс) распределение знаков первых вступлений сложнее. Так, на рис. 1, б представлено распределение знаков первых вступлений Р-волн для землетрясения, произошедшего 30 августа 1957 г. ($\varphi = 39,3^\circ \text{N}$, $\lambda = 72,9^\circ \text{E}$) с $M = 5,5$. Его анализ позволил определить тип очага как «надвиго-взброс» [1].

Такое квадрантное распределение знаков первых вступлений Р-волн характерно для «сдвиговых» землетрясений или землетрясений первого типа. Однако детальное изучение показало, что наблюдаются случаи (~15% от общего числа землетрясений), когда положительные и отрицательные знаки первых вступлений Р-волн не распределяются по квадрантам. Сейсмостанции, окружающие очаг, регистрируют либо только положительные знаки первых вступлений (рис. 1, в), либо только отрицательные (рис. 1, г), что говорит об одинаковости распространения излучения из очагов по всем направлениям [2, 3]. Это землетрясения второго типа, механизм которых не может быть описан «сдвиговой» моделью. Если в работе [2] землетрясения второго типа были просто отнесены к землетрясениям «несдвигового» типа, то в работе [3] последние были названы

«взрывными» по аналогии с характером излучения сейсмических Р-волн от химических взрывов на поверхности Земли. Исходя из этого, в дальнейшем землетрясения второго типа мы будем называть «взрывными» землетрясениями. И, если выяснено, что причины возникновения очагов землетрясений первого типа («сдвиговые») обусловлены тектоническими подвижками, то причина проявлений очагов землетрясений второго типа («взрывные») пока не изучена.

В настоящее время накоплено достаточно сведений, свидетельствующих о двух важнейших особенностях современной эволюции геологической среды: — механические перемещения вещества Земли происходят на любых пространственных и временных масштабах; — доступное изучению вещество земной коры образует блочно-иерархическую структуру, являющуюся результатом процессов деструкции или разрушения [10].

Важную роль для понимания формирования и развития иерархии структурных уровней деформации в твердых телах играют теоретические и экспериментальные результаты, полученные на образцах [11]. С их помощью развит подход, использующий представления о диссипативных структурах в неравновесных системах [12], для которых име-

ют место процессы самоорганизации на каждом из иерархических уровней. Как показано в [13], самоорганизация возникает при наличии иерархической структуры. Этот подход может быть применен к изучению таких природно-техногенных систем, как массивы горных пород, находящихся в процессе обработки. Для их описания применима модель открытой динамической системы [14]. Анализ проявлений процессов самоорганизации может дать представление об устойчивости системы и способствовать разработке критериев устойчивости состояния массива в целом относительно динамических явлений заданного энергетического класса. Это перекликается с постановкой, высказанной в работе [10], заключающейся в гипотезе о делимости масштабов среды. Для всякой области размера l_0 существует акт разрушения определенного энергетического класса (и выше), подготовка которого может рассматриваться с позиций, где детерминистические представления играют важную роль и предсказание которого с некоторой степенью неопределенности (в отношении и времени и места) возможно. Тогда как разрушение меньших масштабов укладывается в концепцию нестационарного случайного процесса, для которого предсказание индивидуальных событий не возможно.

В работах [15, 16] с использованием 3D электромагнитного индукционного пространственно-временного мониторинга [17, 18] удалось установить, что строение массива горных пород различного вещественного состава описывается моделью иерархичной дискретной среды. В рамках конкретной модификации метода удалось проследить два иерархических уровня. Зоны дезинтеграции [19] в околывыработочном пространстве расположены несимметрично в почве и кровле, что может быть свидетельством неравновесного состояния

системы. Эти зоны располагаются дискретно, т.е. имеются интервалы их полного отсутствия в околывыработочном пространстве. Максимальные изменения в массиве, находящемся под техногенным влиянием, проявляются именно в изменении со временем морфологии пространственного положения этих зон.

В настоящей работе предложена одна из возможных причин возникновения очагов «взрывных» землетрясений, произошедших на территории северного Памира и Тянь-Шаньского орогена. Она заключается в следующем.

Результаты

Пусть пласты земной коры первоначально располагаются параллельно друг другу в горизонтальной плоскости (рис. 2, а), тогда, первоначально, сжимающая сила будет направлена вертикально вниз и может быть рассчитана как литостатическое давление. Если теперь на пачку таких слоев будет воздействовать горизонтальная сжимающая сила, то слои начнут изгибаться, образуя формы различной конфигурации, в том числе и сводовые структуры.

И, действительно, земная кора Тянь-Шаньского орогена представляет собой чередующуюся серию антиклиналей и синклиналей [5] с вытянутыми по широте осями. Они могли быть сформированы под действием горизонтальной сжимающей силы меридионального направления, которая обусловлена столкновением Индо-Австралийской и Евразийской литосферных плит [6]. Данные GPS [7] указывают на то, что перемещения горных масс Кыргызского Тянь-Шаня в северном направлении продолжают в настоящее время, и, следовательно, сохраняется горизонтальная сжимающая сила меридионального направления, которая и определяет формирование сводовых структур. В этом случае литостатическое давление, ха-

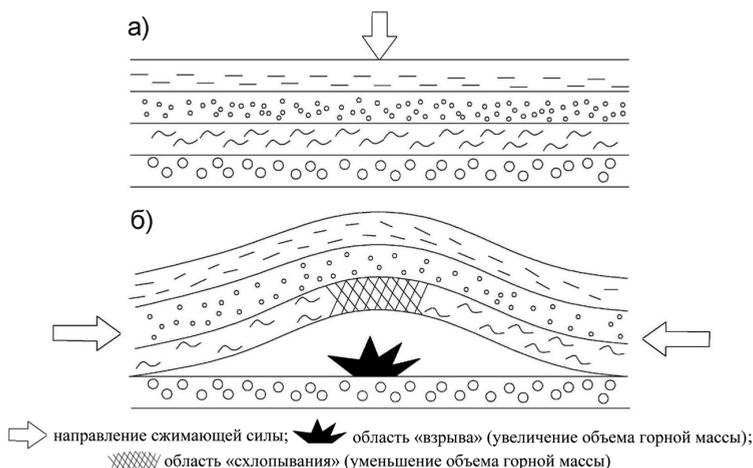


Рис. 2. Пример преобразования горизонтальных слоев (а) в сводовую (антиклинальную) структуру (б) при изменении направления сжимающей силы

ракетное для горизонтальных слоев, будет перераспределяться.

Для наглядности на рис. 2, б показана часть сводовой структуры (антиклиналь). Видно, что в замке антиклинали происходит концентрация напряжений, т.е. резко увеличивается давление, которое может стать причиной уменьшения объема горной массы (схлопывание). В этом случае образуется очаг землетрясения, Р-волны которого направлены к очагу (отрицательные знаки первых вступлений). А в зоне, расположенной глубже замковой части антиклинали, образуется область резкого уменьшения литостатического давления, которое может стать причиной механических разрушений породы («взрыв» с увеличением объема). В этом случае образуется очаг землетрясения, Р-волны от которого распространяются от очага по всем направлениям в одинаковой степени и сейсмостанции регистрируют только положительные знаки первых вступлений Р-волн.

Описанный эффект достоверно проявился при проходке Кольской сверхглубокой скважины, где, судя по опубликованным данным [8], радиальные сочленения ствола скважины увеличивались

в 3–3,5 раза сразу же после вскрытия массива горных пород, т.е. после снятия литостатической нагрузки. По этой же причине разрушался керн, выбуренный из массива на большой глубине. В связи с этим было разработано специальное устройство для его сохранения.

Уместно отметить, что на свойстве разрушения твердых пород после снятия нагрузки разработан так называемый пятый способ измельчения твердых веществ. К известным четырем способам (раздавливание, раскалывание, истирание, удар) добавился пятый способ — растяжение. Он основан на экспериментальном факте, что сопротивление любого материала сжатию всегда больше сопротивления растяжению. Например, у гранита предел прочности на растяжение 40 кг/см², на сжатие — 1400 кг/см², у мрамора 60 кг/см² и 1000 кг/см², песчаника 20 кг/см² и 700 кг/см² соответственно.

Учеными Донецкого физико-технического института А. Белоцерковским и В. Примислером разработано и построено устройство для непрерывного тонкого измельчения твердых веществ (сжатие-растяжение), на которое получено авторское свидетельство [9]. Более крупные

масштабы разрушения твердых пород в естественных залегающих при снятии нагрузки могут приводить к горным ударам и землетрясениям «взрывного» характера.

Настоящая работа посвящена также натурному изучению процессов самоорганизации в массиве горных пород, находящемся под техногенным влиянием и разработке критериев устойчивости на основе предложенной методики классификации.

Проанализируем результаты нескольких циклов электромагнитного мониторинга массива удароопасного Таштагольского подземного рудника, проведенных в 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 гг. в ряде выработок, расположенных на четырех горизонтах на глубинах от 540 до 750 м, с целью выявления морфологии зон дезинтеграции в околорудничном пространстве в массиве горных пород, находящемся под интенсивным техногенным воздействием и влиянием естественного поля напряжений.

Система многоуровневых электромагнитных индукционных частотно-геометрических исследований, проведенных в шахте в 2000–2004 гг., имела вид:

Схема 1

Горизонт	Выработки			
-140		3		
-210	2	4	8	
-280			8	
-350				18 19 20

С использованием математического аппарата интерпретации данных электромагнитных исследований [6–8] была проведена количественная интерпретация. В результате построена объемная геоэлектрическая модель массива на четырех горизонтах, которая представляет собой блоковый разрез с неоднородностями меньшего ранга. Эти неоднородности описываются параметром \tilde{M}_0 ,

который является эквивалентным моментом сингулярного источника электрического типа (токовая линия). Он пропорционален контрастности проводимости в локальной зоне неоднородности и во вмещающей среде, длине токовой линии и зависит от частоты в случае вложенности строения выделенной локальной зоны.

На рис. 3 анализируется морфология зон дезинтеграции в почве массива, выявленная по данным электромагнитного индукционного мониторинга в разные годы и в разных выработках. Они нанесены по вертикали на 140 м и по горизонтали на 330 м. Изучение установления устойчивого подобия структур позволит понять процессы, происходящие в массиве, которые можно зафиксировать по данным геофизического мониторинга.

Введен интегральный параметр поинтервальной интенсивности зон дезинтеграции, выявленных по данным электромагнитного индукционного мониторинга:

$$Spint(N, T) = \sum_{i=1}^K \tilde{M}_0^i,$$

где N – номер интервала, на которые разбивается подпочвенное выработочное пространство: $N = 1$ (0–1 м), $N = 2$ (1–2 м), $N = 3$ (2–3 м), $N = 4$ (3–4 м), $N = 5$ (4–5 м), $N = 6$ (5–6 м), $N = 7$ (6–7 м), $N = 8$ (7–8 м), $N = 9$ (8–12 м), $N = 10$ (12–17 м), T – циклы измерений: $T = 1$ (2000 г.), $T = 2$ (2001 г.), $T = 3$ (2002 г.), $T = 4$ (2003 г.), $T = 5$ (2004 г.) $K = K_N$ – количество выделенных неоднородностей в пределах интервала N по всей длине выработки.

Анализируя результаты полученные согласно схеме 1 для трех частот 20, 10, 5 кГц, можно разбить эти орты на три группы, обращая внимание только на количественные значения $Sp\ int(N, T)$: 1-я группа – до 30, 2-я группа от 30 до 40, 3-я группа – более 40.

Структура массива 1-ой группы, независимо от глубины залегания орта,

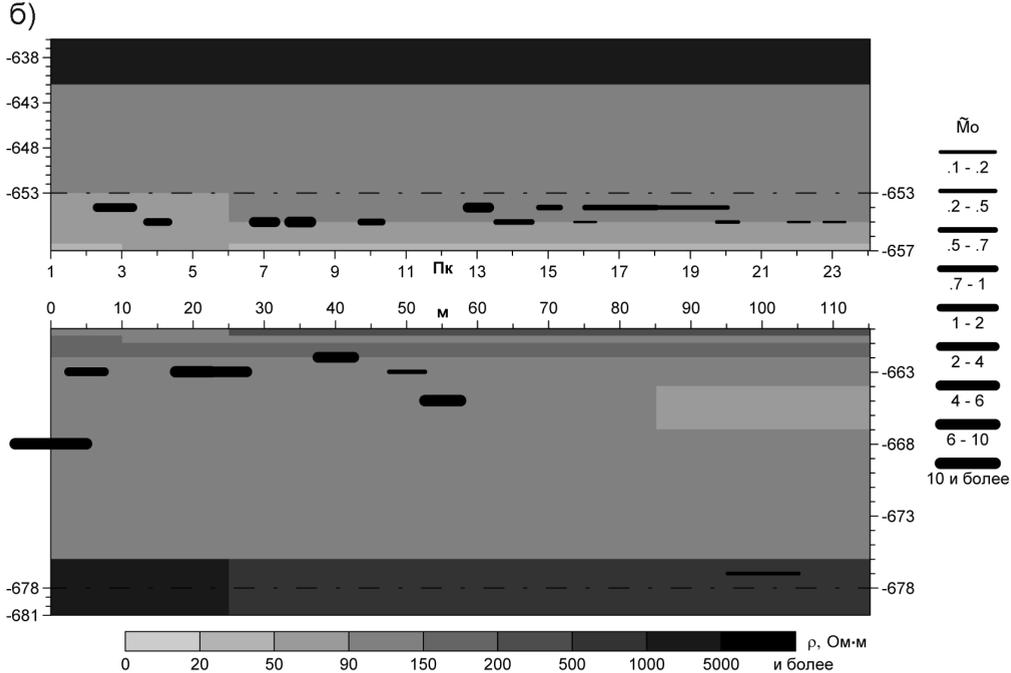
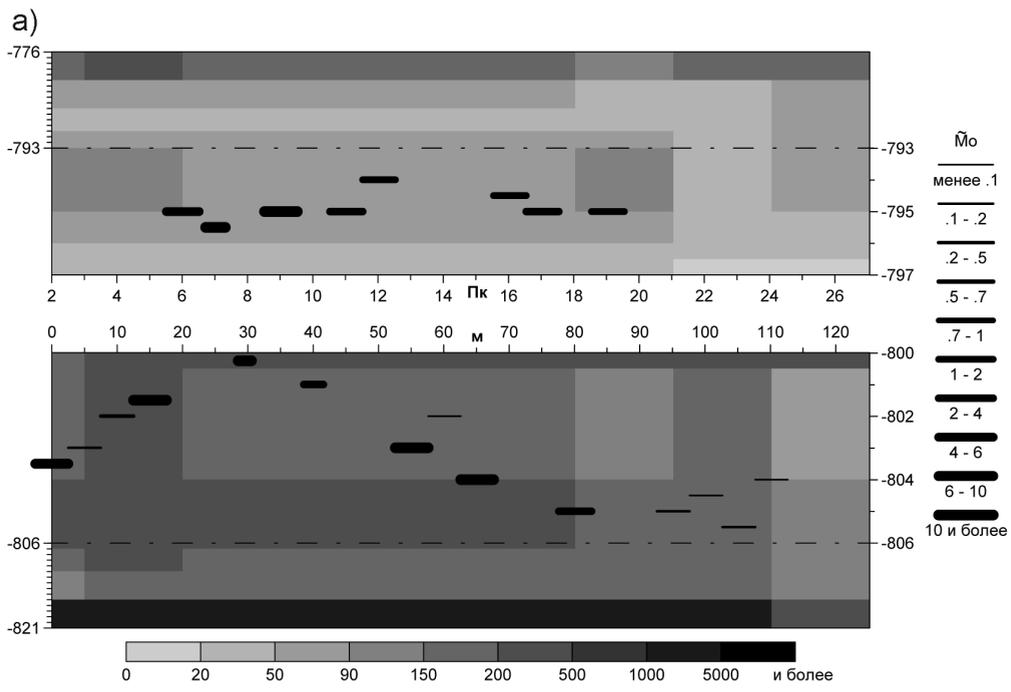


Рис. 3. Проявление процесса самоорганизации в морфологии зон дезинтеграции, выявленной по данным электромагнитного индукционного мониторинга: геoeлектрический разрез по орту 19, горизонт -350, частота 20 кГц, наблюдения 2003 г. (а); геoeлектрический разрез по орту 8, горизонт -210, частота 10 кГц, наблюдения 2002 г. (б)

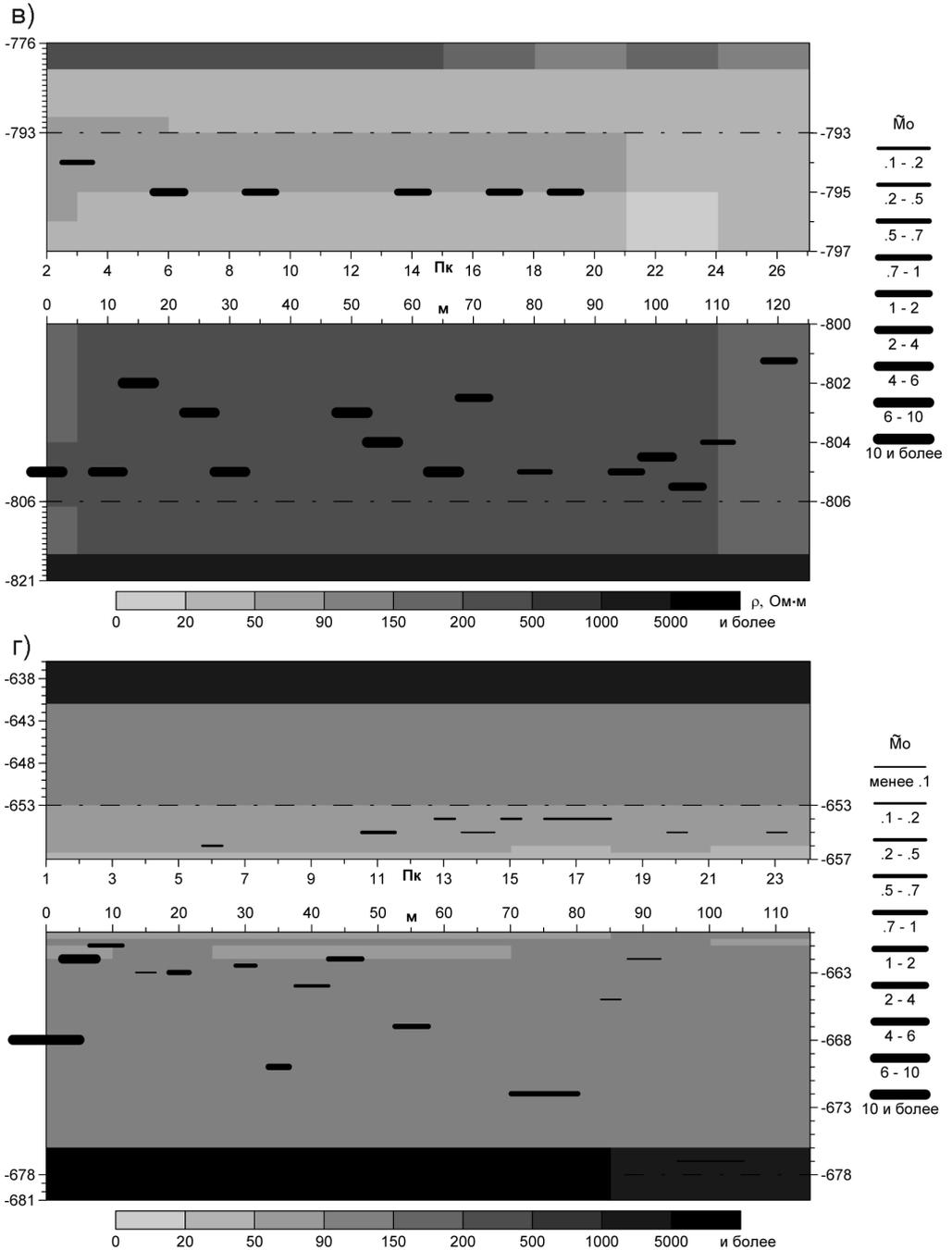


Рис. 3. Проявление процесса самоорганизации в морфологии зон дезинтеграции, выявленной по данным электромагнитного индукционного мониторинга: геоэлектрический разрез по орту 19, горизонт -350 , частота 20 кГц, наблюдения 2002 г. (в); геоэлектрический разрез по орту 8, горизонт -210 , частота 10 кГц, наблюдения 2003 г. (г)

Таблица

№	1-я группа	2-я группа	3-я группа
1	горизонт -140, орт 3	горизонт -210, орт2	горизонт -210, орт 8
2	горизонт -350, орт 20	горизонт -350, орт 18	горизонт -280, орт8
3	горизонт -210, орт4		горизонт -350, орт 19

характеризуется установлением устойчивой упорядоченности распределения параметра $Sp\ int(N, T)$ от контура вглубь почвы, особенно это характерно для 4 орта -210 горизонта, где были предприняты повторные измерения в течение трех последних лет, а для 2003 г., измерения проводились до и после массовых взрывов. В свою очередь 4-й орт проходит по охранному целику, наши результаты исследования свидетельствуют об устойчивости его состояния.

Распределение параметра $Sp\ int(N, T)$ для массива второй группы характеризуется ежегодным изменением своей

упорядоченности по интервалам от контура выработки вглубь почвы, при этом имеет место частотная несогласованность этих изменений, однако амплитуда изменений ограничена. По всей вероятности состояние этого массива можно характеризовать как квазиустойчивое.

Для массива третьей группы особенности распределения параметра $Sp\ int(N, T)$, указанного для массива второй группы, только увеличиваются по своей амплитуде, а массив можно характеризовать как потенциально неустойчивый. Следует отметить, что в 2002, 2003 гг. наиболее сильные динамические проявления

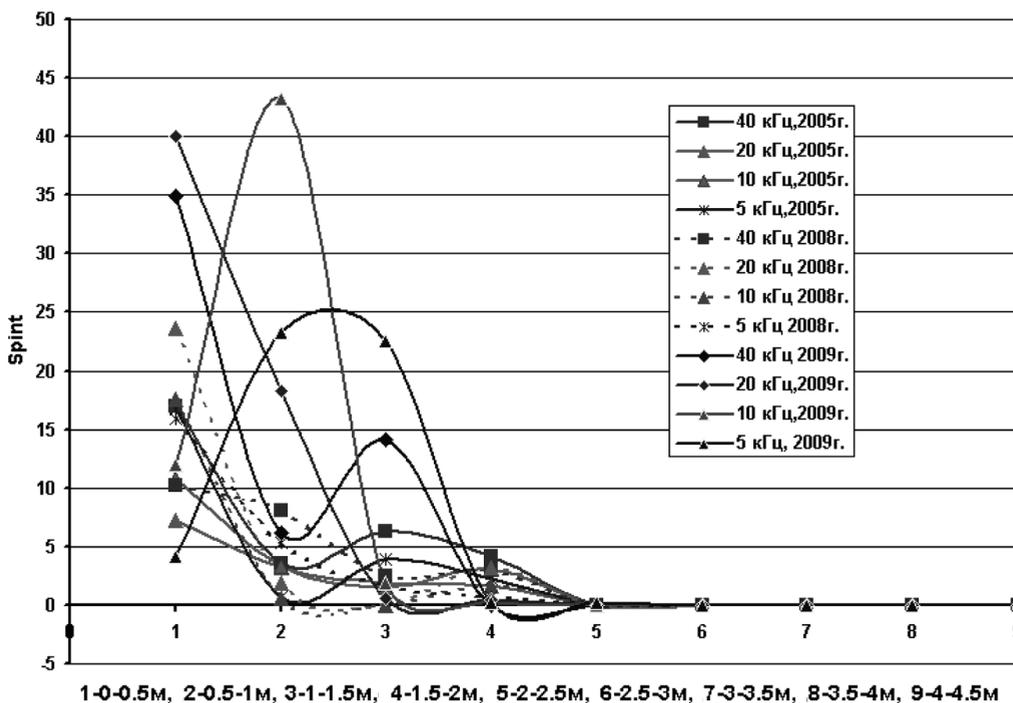


Рис. 4. Изменение состояния массива в пределах квершлага по данным индукционного электромагнитного мониторинга, 2005 г., 2008–2009 гг. Естюнинская шахта

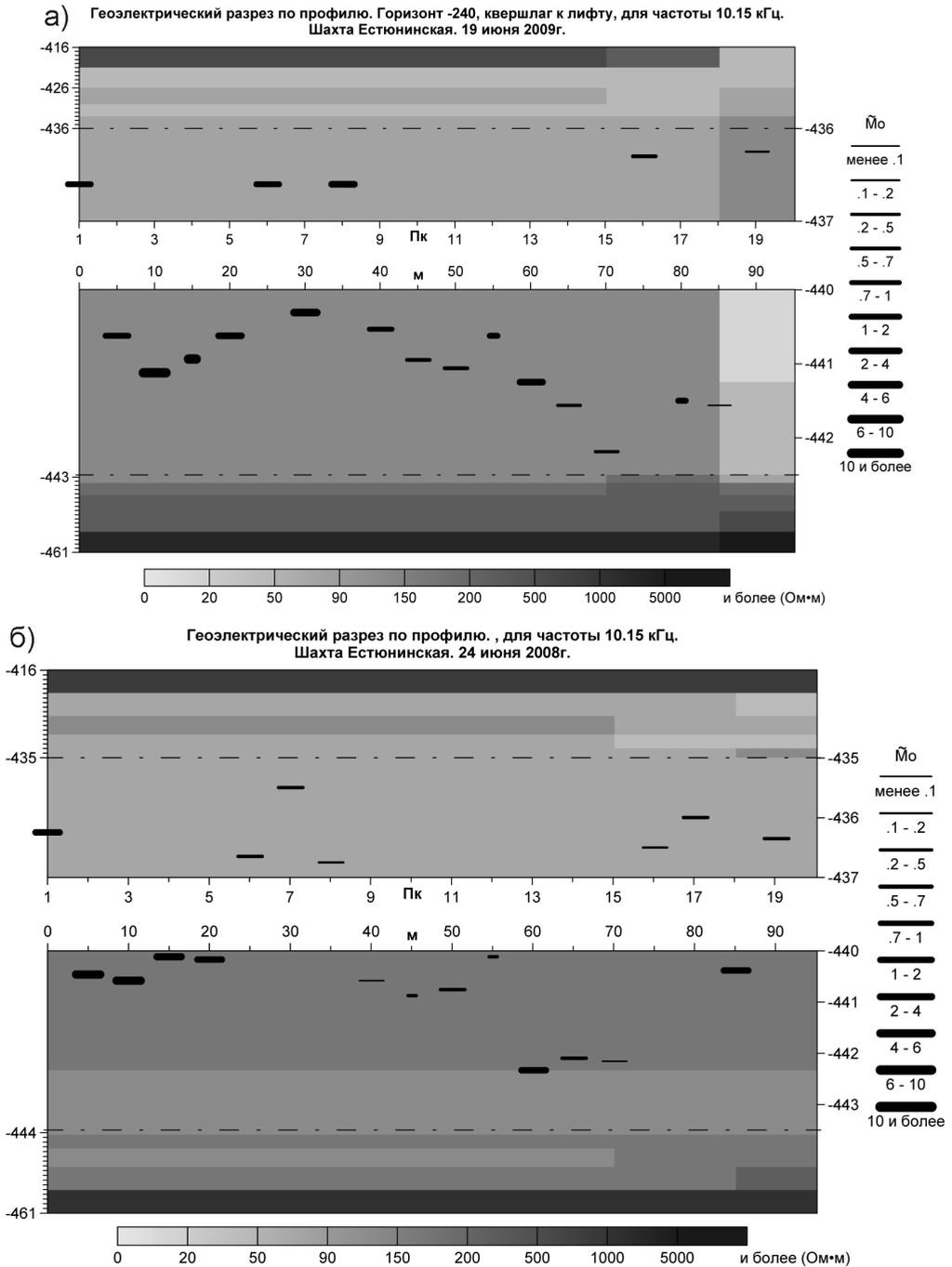


Рис. 5. Отражение процесса самоорганизации в изменении морфологии распределения зон дез-интеграции в геоэлектрических разрезах по профилю квершлаг по данным электромагнитного индукционного мониторинга: 2009 г. (а), 2008 г. (б)

имели место именно вблизи 8-х ортов –210 и –280 горизонтов, орт 19 горизонта –350 также выделяется как аномальный.

Важную роль при обнаружении проявлений эффекта самоорганизации играет расположение профилей электромагнитного мониторинга относительно направления главных напряжений в массиве и близость опорного давления в массиве к наблюдательному профилю. Таким профилем, более чувствительным к изменению напряженного состояния в массиве в процессе его отработки в настоящее время на Естюнинской шахте является квершлаг, расположенный перпендикулярно концу профиля четвертого участка полевого штрека (рис. 4).

На профиле в квершлагe произошли существенные изменения в морфологии распределения зон дезинтеграции в почве (см. сравнительные геоэлектрические разрезы, рис. 5, а, б). В таком отчетливом виде явление самоорганизации впервые проявилось в данных электромагнитного мониторинга в шахте Естюнинская.

Это явление мы наблюдали в Таштагольской шахте в ортах, принадлежащих, следуя классификационной таблице устойчивости [10], к группе неустойчивых массивов, в одном из которых осуществился прогноз по месту и магнитуде горный удар.

Как и в Таштагольской шахте наиболее чувствительными к изменению напряженного состояния являются массивы, расположенные перпендикулярно к направлению главных напряжений.

Наиболее опасным местом на профиле в квершлагe по данным электромагнитных наблюдений 2009 г. является зона сопряжения квершлага с полевым штреком (16–19 пикеты), однако есть еще две зоны: пикеты 8–16 и 1–8. Эти зоны проявлялись и в предыдущие годы см. рис. 5, б).

Однако опасность потери устойчивости массива представляет объединение дискретных зон дезинтеграции в одну морфологическую сводоподобную цепочку.

Заключение

Таким образом, показано, что возможная причина проявлений очагов землетрясений «взрывного» типа — это перераспределение литостатического давления при формировании сводовых структур земной коры (антиклиналей). Следует также отметить, что изучение распределения землетрясений «взрывного» характера в Тянь-Шаньском орогене поможет выявить распределение напряжений в земной коре и связанные с ними геодинамические процессы, обуславливающие, в свою очередь, сейсмические события.

Полученные результаты электромагнитного мониторинга позволяют сделать следующие выводы: массив горных пород представляет многогранговую иерархическую структуру, проявляющую подобную структуру активизации локальной неустойчивости на разных рангах. Изучение динамики состояния, его структуры и явлений самоорганизации массива можно вести геофизическими методами, настроенными на такую модель среды.

Использование попланшетной многоуровневой индукционной электромагнитной методики с контролируемым источником и соответствующей методики обработки и интерпретации позволило выявить зоны дезинтеграции, являющиеся индикатором устойчивости массива. Введение нового интегрального параметра — поинтервального распределения интенсивности зон дезинтеграции, позволяет перейти к детальной классификации массива по степени устойчивости и ввести для этого количественные критерии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широкова Е. И. Особенности механизма очагов землетрясений Средней Азии // Известия АН СССР. Физика Земли. — 1979. — № 10. — С. 44–57.
2. Широкова Е. И. Землетрясения «несдвигового» типа // Известия АН СССР. Физика Земли. — 1985. — № 3. — С. 29–40.
3. Кальметьева З. А. Опыт изучения характеристик слабых землетрясений в связи с тектоническим строением // Известия АН Киргизской ССР. — 1980. — № 1. — С. 9–16.
4. Кальметьева З. А. О классификации очагов слабых землетрясений по характеру излучения // Методы и результаты исследования сейсмоактивных зон Киргизии / Под ред. К.Е. Каммурзаева. — Фрунзе: Илим, 1982. — С. 33–39.
5. Чедия О. К. Новейшая тектоника Киргизии и сейсмогенные структурные формы // Сейсмо-тектоника некоторых районов юга СССР / Под ред. И.Е. Губина. — М.: Наука, 1976. — С. 157–161.
6. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of continental collision // Science, 1975, no 189. pp. 419–426.
7. Zubov A., Beisenbaev P., Van Syachan and др. О некоторых результатах анализа кинематики Тянь-Шаня и окружающих районов по данным GPS наблюдений / Доклады Казахстанско-Российской международной конференции, посвященной году России в Казахстане 22–24 июня 2004 года. — Алматы, 2005. — 34–40 с.
8. Козловский Е. А. Новое о строении земной коры. — М.: Знание, 1988. — 48 с.
9. Белоцерковский А. М., Примислер В. Б. Авторское свидетельство 326980. Устройство для тонкого измельчения материалов. Гос. Комитет СССР по делам изобретений и открытий, Бюллетень № 5, 1972.
10. Гольдин С. В. Деструкция литосферы и физическая мезомеханика // Физическая мезомеханика. — 2002. — Т. 5. — № 5. — С. 5–22.
11. Панин В. Е., Лихачев В. А., Гриняев Ю. В. Структурные уровни деформации твердых тел. — Новосибирск: Наука, 1985. — 226 с.
12. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. — М.: Мир, 1979. — 300 с.
13. Николис Г. Динамика иерархических систем. — М.: Мир, 1989. — 486 с.
14. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. — М.: Мир, 1990. — 344 с.
15. Хачай О. А. К вопросу об изучении строения и состояния геологической гетерогенной нестационарной среды в рамках дискретной иерархической модели // Российский геофизический журнал. — 2004. — № 33–34. — С. 32–37.
16. Хачай О. А., Новгородова Е. Н., Хачай О. Ю. Новая методика обнаружения зон дезинтеграции в околорудном пространстве массивов горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2003. — № 11. — С. 26–29.
17. Хачай О. А., Влох Н. П., Новгородова Е. Н. и др. Трехмерный электромагнитный мониторинг состояния массива горных пород // Физика Земли. — 2001. — № 2. — С. 85–92.
18. Хачай О. А., Хачай О. Ю., Хачай А. Ю. Новые системы мониторинга иерархической гетерогенности горного массива. Обоснование шахтной сейсмичности. — Lambert Academic Publishing, 2017. — 93 p.
19. Шемякин Е. И., Фисенко Г. Л., Курленя М. В. и др. Эффект зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок // ДАН СССР. — 1986. — Т. 289. — № 5. — С. 28–34. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Хачай Ольга Александровна — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, старший научный сотрудник, Институт геофизики Уральского отделения РАН, e-mail: olgakhachay@yandex.ru,
Погребной Валентин Николаевич¹ — доктор физико-математических наук, зав. лабораторией, e-mail: vpogr@mail.ru,
Хачай Олег Юрьевич — кандидат физико-математических наук, доцент, Уральский федеральный университет, e-mail: khachay@yandex.ru,
Малосиева Маргарита Тимуровна¹ — младший научный сотрудник,
¹ Институт сейсмологии НАН КР, Кыргызстан.

O.A. Khachay, V.N. Pogrebnoy, O.Yu. Khachay, M.T. Malosieva

SIMILARITY OF PROBABLE CAUSE OF EXPLOSION-TYPE EARTHQUAKES AND DYNAMIC EVENTS IN ROCKBURST-HAZARDOUS UNDERGROUND MINES

Aiming to explain the course of explosion-type earthquakes, the article proposes a model of lithostatic pressure re-distribution in the course of formation of arched (anticline) structures in the earth crust. It is shown that the lithostatic pressure considerably grows at the top of a forming arched structure, which ends in the sharp reduction in the volume of rocks (implosion). At the same time, the lithostatic pressure is released under the arch top, which results in mechanical failure of rocks (explosion). It is concluded that the «implosive» and «explosive» failure processes in rock mass in the course of formation of arched structures are the probable cause of explosion-type earthquakes. By the electromagnetic monitoring in rockburst-hazardous rock mass exposed to high explosion load due to mining operations, in the local instability zones in the subsurface, the zones of disintegration of the arch morphology are detected. This fact can be reflective of the dynamic hierarchical similarity of response of geological medium to initiation of dynamic events in the form of earthquakes or rock bursts.

Key words: explosion-type earthquakes, rock bursts, rockburst-hazardous rock mass, hierarchical similarity of response, initiation of dynamic events.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-159-171

AUTHORS

Khachay O.A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Senior Researcher, e-mail: olgakhachay@yandex.ru, Institute of Geophysics of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 620016, Ekaterinburg, Russia,
*Pogrebnoy V.N.*¹, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

Head of Laboratory, e-mail: vpogr@mail.ru,

Khachay O.Yu., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor, e-mail: khachay@yandex.ru, Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russia,

*Malosieva M.T.*¹, Junior Researcher,

¹ Seismology institute, National Academy of Science of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan.

REFERENCES

1. Shirokova E. I. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Fizika Zemli*. 1979, no 10, pp. 44–57.
2. Shirokova E. I. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Fizika Zemli*. 1985, no 3, pp. 29–40.
3. Kal'met'eva Z. A. *Izvestiya Akademii nauk Kirgizskoy SSR*. 1980, no 1, pp. 9–16.
4. Kal'met'eva Z. A. *Metody i rezul'taty issledovaniya seismoaktivnykh zon Kirgizii*. Pod red. K. E. Kalamurzaeva (Methods and results of investigation of seismically active zones in Kazakhstan. Kalamurzaev K. E. (Ed.)), Frunze, Ilim, 1982, pp. 33–39.
5. Chediya O. K. *Seismotektonika nekotorykh rayonov yuga SSSR*. Pod red. I. E. Gubina (Seismotectonics of some regions of the South of the USSR, Gubin I. E. (Ed.)), Moscow, Nauka, 1976, pp. 157–161.
6. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of continental collision. *Science*, 1975, no 189, pp. 419–426.
7. Zubovich A., Beysenbaev R., Van Syaochan *Doklady Kazakhstansko-Rossiyskoy mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy godu Rossii v Kazakhstane 22–24 iyunya 2004 g.* (Proceedings of the Kazakhstan–Russia international conference devoted to the Year of Russia in Kazakhstan, 22–24 June 2004), Almaty, 2005, 34–40 p.
8. Kozlovskiy E. A. *Novoe o stroenii zemnoy kory* (New information on the earth crust structure), Moscow, Znanie, 1988, 48 p.
9. Belotserkovskiy A. M., Primisler V. B. *Copyright certificate no 326980*, 1972.
10. Gol'din S. V. *Fizicheskaya mezomekhanika*. 2002, vol. 5, no 5, pp. 5–22.
11. Panin V. E., Likhachev V. A., Grinyaev Yu. V. *Strukturnye urovni deformatsii tverdykh tel* (Structure levels of deformation in solids), Novosibirsk, Nauka, 1985, 226 p.

12. Nikolis G., Prigozhin I. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh* (Self-organization in nonequilibrium systems), Moscow, Mir, 1979, 300 p.
13. Nikolis G. *Dinamika ierarkhicheskikh sistem* (Dynamics of hierarchical systems), Moscow, Mir, 1989, 486 p.
14. Nikolis G., Prigozhin I. *Poznanie slozhnogo* (Perception of sophisticated subjects), Moscow, Mir, 1990, 344 p.
15. Khachay O. A. *Rossiyskiy geofizicheskiy zhurnal*. 2004, no 33–34, pp. 32–37.
16. Khachay O. A., Novgorodova E. N., Khachay O. Yu. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2003, no 11, pp. 26–29.
17. Khachay O. A., Vlokh N. P., Novgorodova E. N. *Fizika Zemli*. 2001, no 2, pp. 85–92.
18. Khachay O. A., Khachay O. Yu., Khachay A. Yu. *Novye sistemy monitoringa ierarkhichnoy geterogennosti gornogo massiva. Obosnovanie shakhtnoy seysmichnosti* (New systems of monitoring hierarchical heterogeneity in rock mass. Evaluation of mine seismicity), Lambert Academic Publishing, 2017. 93 p.
19. Shemyakin E. I., Fisenko G. L., Kurlenya M. V. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1986, vol. 289, no 5, pp. 28–34.

FIGURES

Fig. 1. Distribution of signs of first P-wave arrivals in the stereographic projection for earthquakes with different source mechanisms: shear-type earthquakes (theoretical model (a); earthquake on August 30, 1957 ($\varphi = 39.3^\circ \text{N}$, $\lambda = 72.9^\circ \text{E}$), $M = 5.5$ (dip-slip faulting type) (b); earthquake on December 11, 1969 ($\varphi = 41.5^\circ \text{N}$, $\lambda = 79.5^\circ \text{E}$), $M = 6.6$ (explosion type) (v); earthquake on April 1, 1966 ($\varphi = 40.8^\circ \text{N}$, $\lambda = 72.7^\circ \text{E}$), $M = 3.5$ (explosion type) (g).

Fig. 2. Example of transformation of horizontal layers (a) into arched (anticline) structure (b) upon the change in direction of compression force

Fig. 3. Event of self-organization in the morphology of disintegration zones by the data of electromagnetic induction monitoring: subsurface electrical profile along crossdrift 19, level -350, frequency 20 kHz, year of 2003 (a); subsurface electrical profile along crossdrift 8, level -210, frequency 10 kHz, year of 2002 (b); subsurface electrical profile along crossdrift 19, level -350, frequency 20 kHz, year of 2002 (v); subsurface electrical profile along crossdrift 8, level -210, frequency 10 kHz, year of 2003 (g).

Fig. 4. Variation in the condition of rock mass within a crossdrift by the electromagnetic induction monitoring data, Estyuninskaya Mine.

Fig. 5. Representation of the self-organization process in the change in the morphology of distribution of disintegration zones in the subsurface electrical profiles along a crossdrift by the electromagnetic induction monitoring data: 2009 (a), 2008 (b).



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Ютяев Е.П.

Подземная разработка пологих газоносных угольных пластов длинными забоями

Год: 2017

Страниц: 288

ISBN: 978-5-98672-476-8

UDK: 622.831.32

На примере шахт компании АО «СУЭК-Кузбасс» показано, что при реализации структуры «шахта-лава» для поддержания стабильно высоких нагрузок на очистные забои на стадии проектирования необходимы качественный прогноз горно-геологических условий, включающий выявление и геометризацию тектонически напряженных и тектонически разгруженных зон, а также корректный выбор способов и средств управления газовойделением на основе качественной оценки максимально допустимой нагрузки на забои по газовому фактору. В качестве существенного резерва повышения производительности комплексно механизированных очистных забоев отмечено увеличение эффективности применения современного очистного оборудования за счет сокращения простоев по организационнотехническим причинам. Особое внимание уделено разработке и технической реализации в рамках компании структуры единого диспетчерско-аналитического центра.