

ОПЫТ ВЫЯВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ И ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Н.М. Торгаев

Таштагольский рудник, г. Новокузнецк

Разработана методика оперативного выявления активных разломов земной коры с помощью геофизических методов, основанная на закономерных изменениях физических полей (напряжений) в блоках земной коры, разделенных активными разломами, в период подготовки землетрясений. Положение активного разлома, его размеры (или размеры подвижных блоков) и степень тектонической активности являются прогнозными признаками ожидаемого землетрясения: места, мощности и времени.

ВВЕДЕНИЕ

Катастрофическое Спитакское землетрясение (Армения) 7 декабря 1988 г. показало, что ни в СССР, ни в мире служба прогноза неэффективна. Как высказался позднее директор Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта В.Н. Страхов: «В настоящее время в сейсмологии господствует парадигма эмпирического обобщения, ретроспективного анализа и аналогии. Однако эмпирическое обобщение необходимое, но, увы, недостаточное основание для уверенного прогноза, вся беда в том, что в данном случае отсутствует главный фактор определяющий лицо других наук (физики, химии, биологии и т.д.) – активный эксперимент» [1].

Данная методика предусматривает активный эксперимент: оперативное выявление активных разломов геофизическими методами, определение их стадии и степени тектонической активности, дальнейшее проведение комплекса работ на высокоактивных разломах для получения данных краткосрочного прогноза готовящегося землетрясения.

Методика разработана в 1986-89 гг. на основании анализа многолетних подземных электрометрических наблюдений, проведенных на Таштагольском удароопасном руднике в Кемеровской области, и опубликованных данных по горным ударам и землетрясениям. Катастрофические землетрясения, произошедшие в последующие годы в Иране, Японии (Кобе, январь 1995 г.), на Сахалине (Нефтегорск, май 1995 г.), почти во всех странах Центральной и Юго-Восточной Азии, Северной Африке, странах Средиземноморья, обеих Америках и даже в «спокойных» странах Центральной Европы, подтвердили беспомощность существующих служб по обеспечению безопасности населения от природных катаклизмов. Правда, в истории есть несколько случаев прогноза землетрясений: Китай (Хайчен, февраль 1975 г.), США, СССР, Япония [2]. Эти редкие примеры говорят не об отставании науки в проблеме прогноза землетрясений, а скорее об отсутствии заказов, финансирования на проведение подобных работ. Деньги от правительства поступают «после того, как», а «до того, как» - их нет.

Тектоническая активность на нашей планете выражается в виде динамических и газодинамических явлений с взрывами газа и угольной пыли на шахтах, землетрясениями и извержениями вулканов. Оперативная оценка тектонической активности и своевременное принятие мер по уменьшению поражающего фактора или предотвращения природных катастроф позволят значительно сократить материальные затраты на их ликвидацию.

МЕТОДИКА РАБОТ

В качестве примера рассмотрим опыт оценки напряженного состояния горных пород и прогноза горных ударов на Таштагольском руднике.

С 1991 года стал применяться метод симметричного электропрофилирования. Измерения проводились в основных выработках с шагом 5 - 25 м, при разnose питающих электродов на 20-30 м, приемных – 0,4 м. При работе использовалась электроразведочная аппаратура ИКС-50 и АНЧ-3. Электрометрия проводилась в периоды массовых взрывов, чтобы оценить влияние взрыва на напряженное состояние горных пород и выявить участки аномальных изменений их физических свойств, связанных с проявлениями деформаций. Для этого проводились временные измерения по закрепленным точкам: два измерения до взрыва, с интервалом 7 - 10 дней, и одно измерение - после. При необходимости после взрыва проводилось несколько измерений по всем выработкам или на отдельных участках. Эффективности проводимых электрометрических наблюдений способствовала уникальность Таштагольского рудника: проведение горных работ на глубинах до 1 км, расположение в пределах сейсмоактивной Алтае-Саянской складчатой области, где не прекращаются горообразовательные (тектонические) процессы, сопровождаемые многочисленными сейсмическими толчками силой более 7 баллов (4.11.86, 27.10.2003 г.); горные работы и регулярные массовые взрывы, ускоряющие естественные тектонические процессы в земной коре региона, из-за чего на руднике иногда происходило несколько горных ударов в год (30.04.1982 г., 12.12.1982 г., 25.12.1982 г. – три толчка, два из которых сравнимы по силе с 5-ти балльными землетрясениями); очень прочные магнетитовые руды и вмещающие горные породы (ГП), способные накапливать и выдерживать большие напряжения, при этом средний уровень измеряемых электросопротивлений по всей длине горной выработки (более 500 м) изменялся в 220 раз, а на отдельных точках – в 1000 раз [3].

По данным электрометрии определялись не абсолютные значения напряжений в горных выработках (ГВ), а их относительные изменения вдоль ГВ за определенный промежуток времени. Изменения напряжений (плотности) ГП

за определенный промежуток времени на определенном участке земной коры (ЗК) в ГВ можно фиксировать несколькими методами, известными в геофизике. Наиболее эффективные (из опыта работ) – сейсмический, гравиметрический и электрометрический методы, используемые в комплексе или в отдельности, в которых относительные изменения напряжений определяются по изменению скоростей сейсмических волн, ускорений силы тяжести и кажущихся сопротивлений (c_k). В данном случае применялся электрометрический метод, как наиболее высокочувствительный и менее трудоемкий, на проведении которого не сказывается сейсмика работающих механизмов рудника, и за эффективность его применения высказывались специалисты Китая, Японии и США [4, 5]. С электрометрией успешно использовалась гравиметрия.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Электрометрические наблюдения, проведенные автором в 1984 г. в период подготовки горного удара 27.11.84 г., показали необычные (волновые) изменения уровней c_k на грузовых квершлагах горизонтов -140 и -210 м, дополнительные измерения в дальнейшем на порожняковых квершлагах этих же горизонтов подтвердили процессы волновых, противофазных изменений c_k (напряжений, рис. 1).

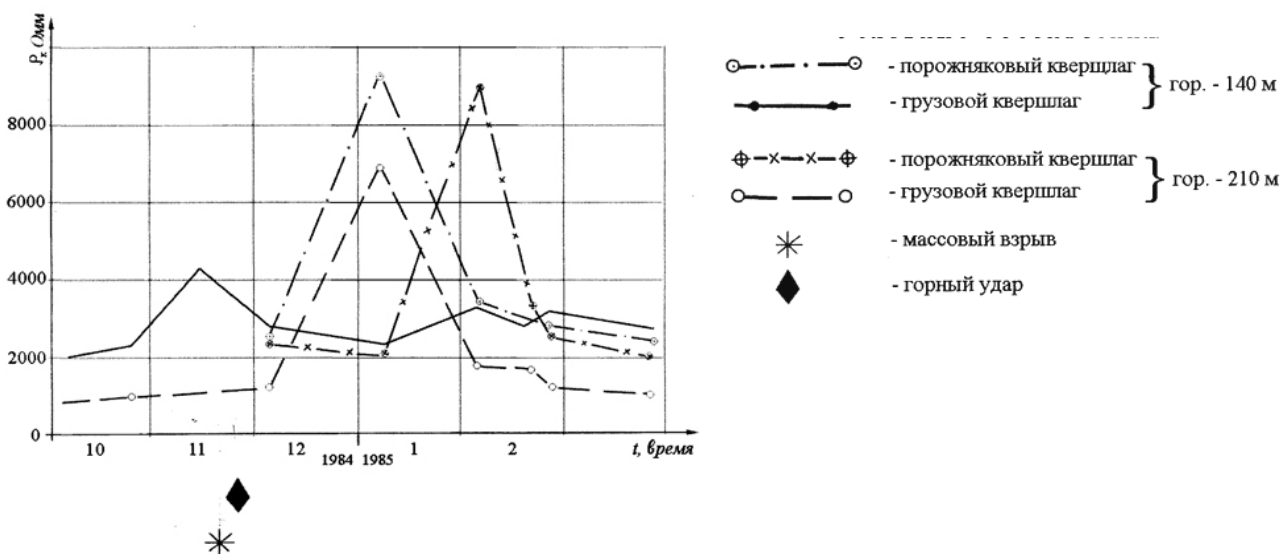


Рис. 1. Графики изменений средних значений P_k горных выработок при горном ударе 27.11.1984 г.

Измерения по полевым штрекам, расположенным перпендикулярно квершлагам, показали наличие высокоактивной зоны горных пород, где постоянно наблюдалось интенсивное трещинообразование или разрушение бетонной крепи, бетонных пешеходных траппов после горных ударов или массовых взрывов [3]. Анализ горно-геологической обстановки и имеющихся геофизических наблюдений на руднике в период горных ударов 12.12 и 25.12.82 г. установил, что это результат активизации диагональной тектонической зоны северо-западного простирания. Произошла подвижка северо-восточного блока, в котором расположен конус обрушения, а разрушения горных выработок произошли в местах пересечения их с тектонической зоной и оперяющими нарушениями и дайковыми телами субширотного или северо-восточного простирания. Измерения проведенные по полевому штреку через диагональную тектоническую зону на гор. -210 м в октябре 1982 г. показали, что уровень c_k юго-западного блока был в 3-4 раза ниже, чем северо-восточного. При этом отмечены противофазные изменения уровней c_k в этих блоках: по обгонному штреку (СВ блок) и кольцевому, полевому штрекам (ЮЗ блок, рис. 2).

Наглядными примерами временных изменений напряжений (физических полей) в ГП могут служить данные электрометрических наблюдений по грузовому квершлагу гор. -210 м до и после горного удара 25.12.82 г. (рис. 3), по фланговому уклону шахты Абашевской (г. Новокузнецк) и на поверхности в районе г. Междуреченска.

На рис. 4 представлены графики временных изменений c_k по профилям наблюдений, где Dc_k есть разность определенных значений первого и второго циклов наблюдений ($Dc_k = c_{k2} - c_{k1}$). На рис. 4а приведены результаты наблюдений по фланговому уклону лав 16-02 и 16-04 шахты Абашевской в 1991 г. В интервале пикетов 150-190 находится активная зона, которая отмечается изменением знака Dc_k . Второй цикл наблюдений по уклону (через 9 дней) позволил определить положение активной зоны, которая разделила массив на 2 самостоятельных блока: один блок разгружался (интервал 0 – 150), а другой пригружался (интервал 180 – 300) – противофазные изменения напряжений. Измерения проводились по почве горной выработке, т.к. выработка была закреплена. Активность выявленной зоны выразилась ранее завалом монтажной камеры, пройденной через 20 м параллельно уклону. Рис. 4б представляет результаты наблюдений по Томскому профилю, разбитому по правому берегу р. Томи в г. Междуреченске от автомобильного моста вверх по течению. Изменения знака Dc_k в интервале пикетов 1.0-1.2 (район железнодорожно-

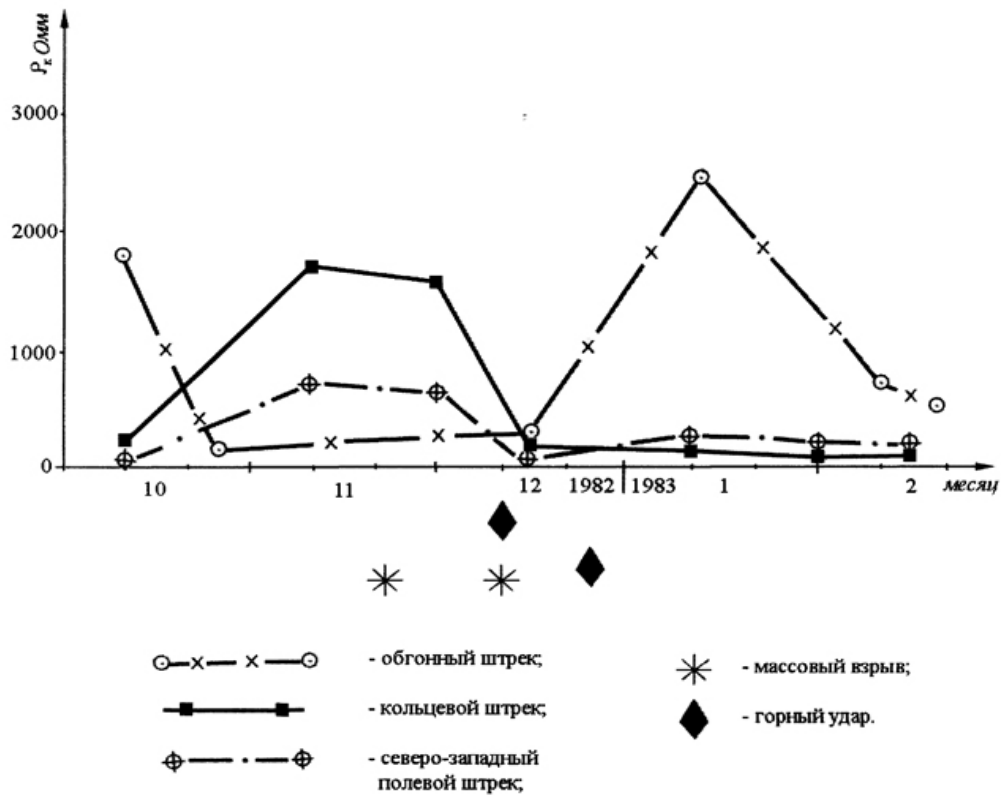


Рис. 2. Графики изменений средних значений ρ_k горных выработок на горизонте 140 м при горном ударе 25.12.1982 г.

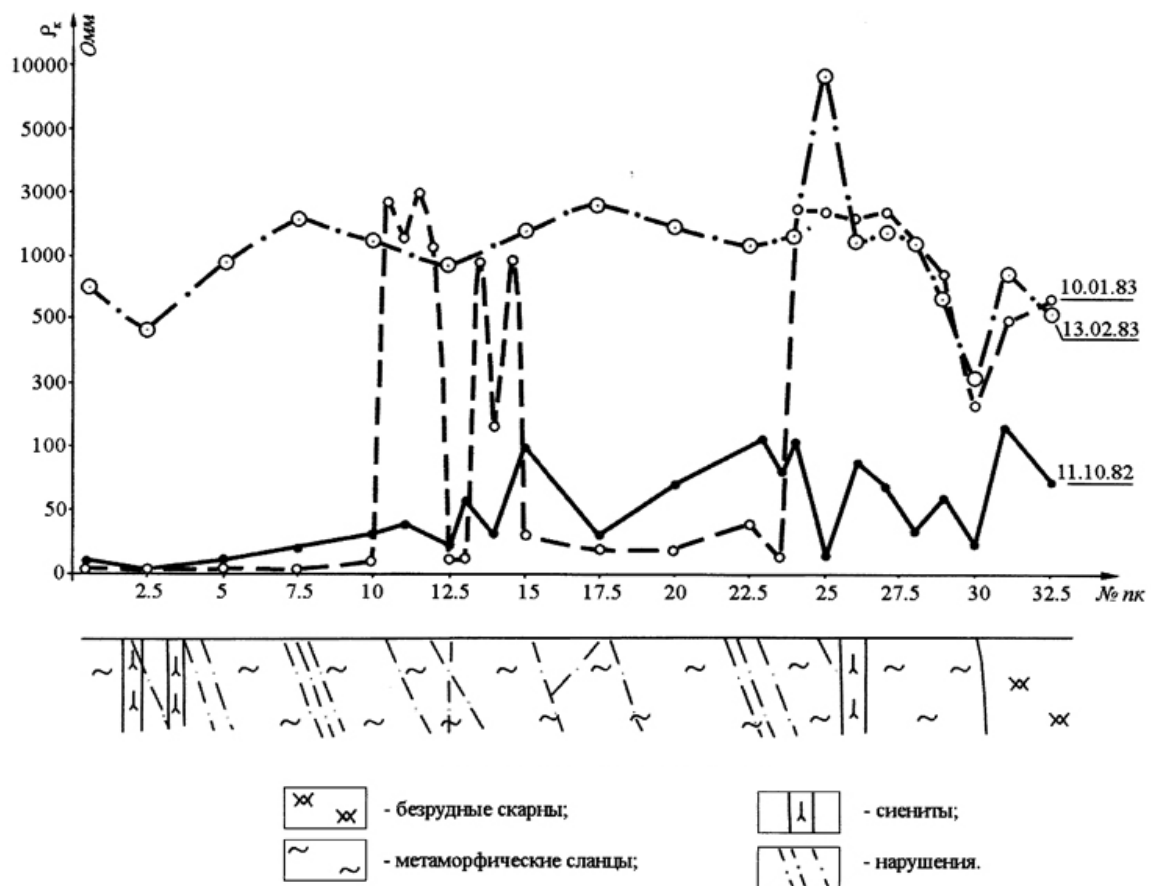


Рис. 3. Графики изменений ρ_k по грузовому квершлагу гор. -210м.

го моста через р. Томь) отмечает положение субширотного регионального разлома, выделенного по аэро- и космоснимкам. Анализ графика $\Delta \rho_k$ позволяет предположить, что активный региональный разлом имеет большую мощность и расположен в интервале пикетов 1.1-1.8. Подобные изменения физических полей во времени в ГП были получены при микрогравиметрических наблюдениях на угольной шахте «Бобрек» (Польша), на шахте «Готвальд» [6, 7] и других шахтах [8].

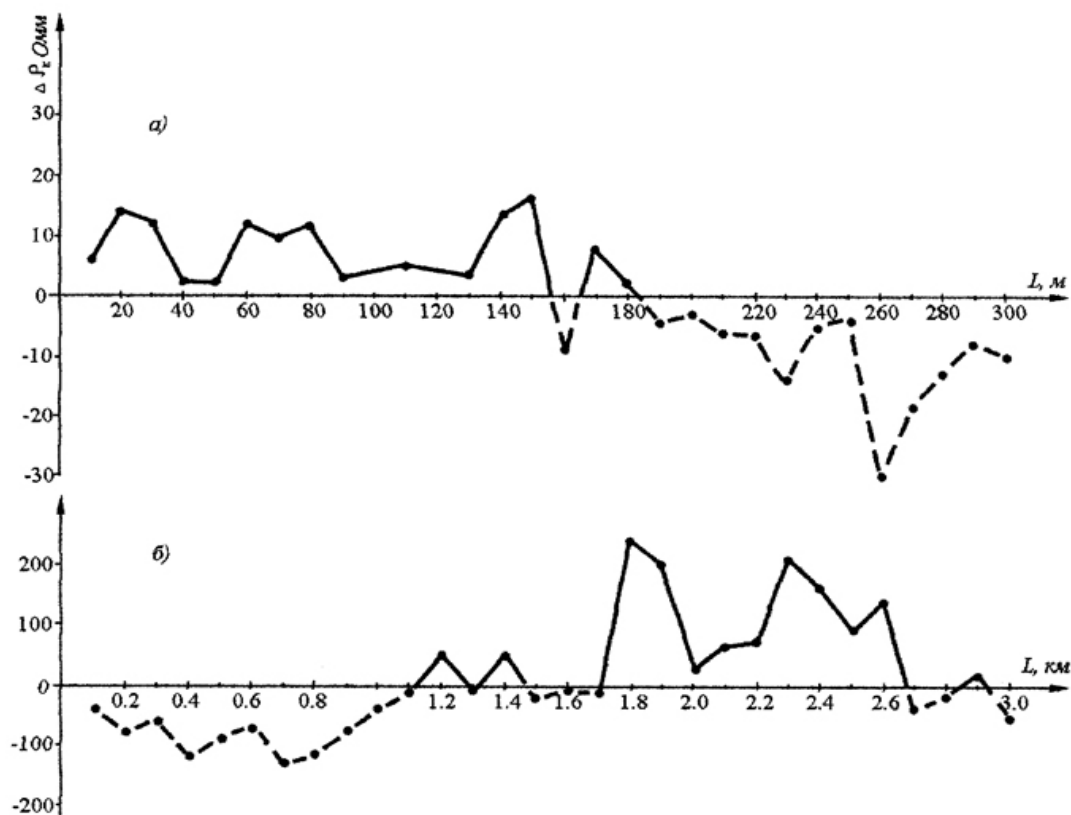


Рис. 4. Графики изменений $\Delta \rho_k$: а) по уклону лав 16-02 и 16-04 ш. Абашевская; б) по Томскому профилю в г. Междуреченске.

В 1986 г. в период подготовки 7-балльного Алтайского землетрясения (4.11), эпицентр которого находился в 220 км к юго-востоку от рудника, электрометрические наблюдения в шахте позволили отметить активизацию пологопадающих разломов за 1,5 месяца до толчка: противофазные изменения средних значений ρ_k на гор. -140, -210, -280 м (рис. 5).

Анализ многолетних электрометрических наблюдений, проведенных на Таштагольском руднике (1981-1986 гг.), и опубликованной информации по горным ударам и землетрясениям позволил сделать вывод об идентичности механизмов горных ударов и землетрясений, которые выражаются в виде срывов блоков земной коры по активным разломам. При этом срыв происходит не в одночасье под действием разрушающих напряжений, а подготавливается длительной, постоянной их раскачкой. В природе раскачка блоков вдоль активного разлома происходит за счет объемной деформации горных пород, приводящей к поступательному движению их относительно друг друга под действием циклических (периодических) деформационных волн земной коры [9]. Процесс раскачки и срыв блоков вдоль активного разлома возможны в том случае, когда частота пульсаций блоков и деформационных волн (возникающих в земной коре по различным причинам) совпадают или соизмеримы. Возникает резонансное явление, при котором поглощение блоками периодически приходящей даже незначительной энергии становится в определенный момент времени аномально большим [10]. Совместный анализ электрометрических наблюдений, проведенных на Таштагольском руднике в 1984 г. и сейсмической активности региона за этот период, позволил установить, что частота резонируемых (раскачивающихся) блоков в 2 раза ниже частоты деформационных волн. Период деформационных волн был определен по среднегодовому временному интервалу сейсмической активности (временной интервал между пачками землетрясений) зафиксированной в Алтае-Саянской складчатой области и составил 45 дней [11]. Период резонируемых блоков определен по графику временных изменений ρ_k (рис. 1), он равен 90 дням. Вполне возможно, что подобная закономерность существует в природе. В статье [12] отмечается: «Возмущение поверхности жидкости описывается уравнением Матье, в котором раскачка параметрических волн происходит с половинной частотой по отношению к частоте колебаний дна».

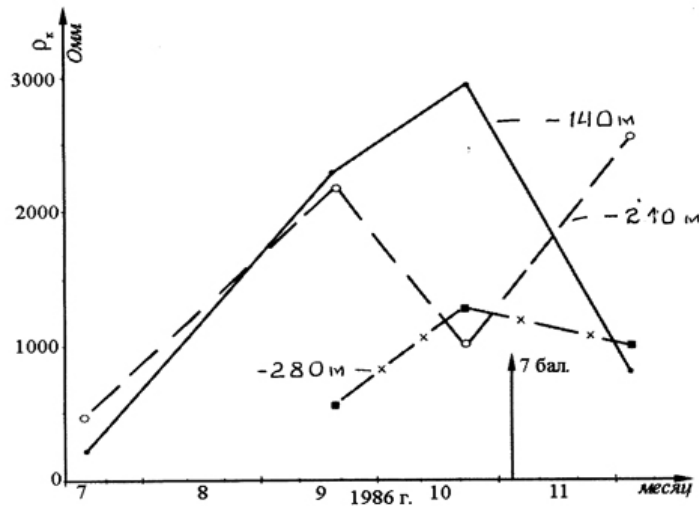


Рис. 5. Графики изменений средних значений ρ_k в период Алтайского землетрясения 4.11.1986 г.

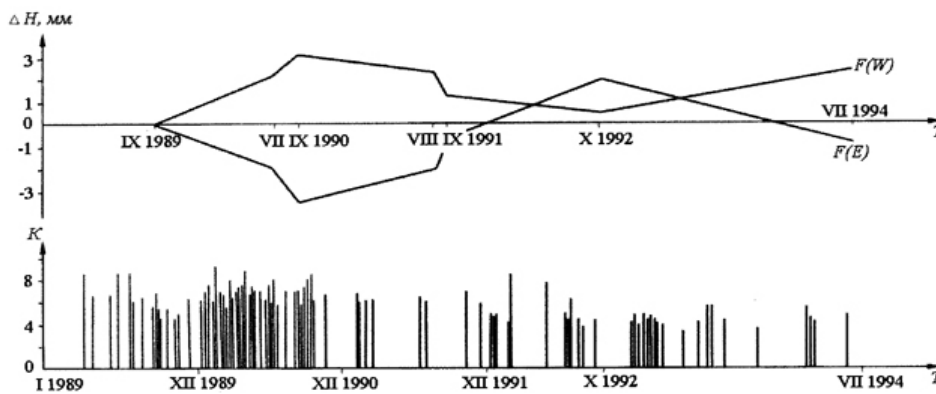


Рис. 6. Схема вертикальных движений восточного (E) и западного (W) блоков и проявление сейсмичности за период сентябрь 1989 г. - июль 1994 г. (на графике нанесены только землетрясения с $K \geq 4$).

Систематизация и анализ электрометрических наблюдений, проведенных в течении 6 лет в различных геологических и геодинамических условиях разрабатываемого железорудного месторождения, выявили закономерности в изменении физических полей земной коры в период подготовки динамических явлений. По изменению физических полей (c_k) во времени уверенно выделяются активные разломы (участки горных пород) и определяются их стадия и степень тектонической активности:

1 стадия – стадия естественного состояния разлома (при живой, пульсирующей планете), при которой зона разлома испытывает резкие изменения напряжений (физических свойств) горных пород во времени (циклы сжатия и растяжения);

2 стадия – стадия раскачки, характеризующаяся периодическими противофазными изменениями напряжений горных пород блоков, разделенных этим активным разломом.

Вторая стадия активизации разлома выражается степенью тектонической активности (амплитудой раскачки), для чего вводится коэффициент тектонической активности ($K_{та}$) – отношение усредненных уровней (c_k) физических полей блоков, разделенных активным разломом, где $K_{та} > 1$. Численные значения $K_{та}$, определенные с временным интервалом на исследуемом участке, будут отражать развитие процесса активизации – усиление или ослабление. Временной интервал измерений должен быть в 4 - 5 раз меньше полного периода изменений напряжений в блоке, который, в свою очередь, зависит от размера блока или длины активного разлома.

Основные положения этих выводов вошли в методику прогноза горных ударов и успешно применялись при прогнозе динамических явлений на Таштагольском руднике в 1987 году. Подтверждением существующего процесса раскачки блоков вдоль активного разлома являются геодезические наблюдения за деформацией земной поверхности

в районе Таштагольского месторождения, которые были проведены в 1989-94 гг. после начавшихся местных 5-балльных землетрясений в феврале 1988 г. Нивелирование земной поверхности выявило максимальную амплитуду раскачки блоков до 8 мм (рис. 6) [13]. В статье [14] приводятся данные о значительных подвижках блоков земной коры: «Выявлено наличие интенсивных локальных аномалий вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности, которые приурочены к зонам тектонических нарушений (разломам) разного типа и порядка. Эти аномальные движения высокоградиентны (свыше 50 мм/год), короткопериодичны (от 0,1 года до первых лет), пространственно локализованы (от 0,1 до первых десятков километров), обладают *пульсационной и знакопеременной* направленностью. Основные пространственно-временные характеристики аномальных движений идентичны, как для сейсмоактивных, так и для асейсмичных разломных зон. При этом интенсивность деформационного процесса в разломах асейсмичных регионов выше, чем в сейсмоактивных» [14]. Аналогичные выводы в статье [15]: «Обнаружено, что в целом ряде случаев сильные землетрясения действительно приурочиваются к областям, где приращения сейсмотектонических деформаций и напряжений противоположны по знаку».

В период Таштагольских землетрясений на активном разломе некоторое время проводились наблюдения за изменениями магнитного и электромагнитного полей. Известный тектонический разлом находился в 4 км западнее железорудного месторождения, его активность выразилась разрушением печных труб в п. Кочура и образованием трещин в кирпичных и панельных строениях западного микрорайона города. Непрерывная запись полного вектора магнитного поля Земли (T , нТ) велась через 1 мин. при помощи магнитометра МПП-303, а измерения электромагнитного излучения (ЭМИ, N , имп/сек) осуществлялись при помощи измерителя (через 30 мин.), сконструированного на базе радиометра (рис. 7). На рисунке представлены данные суточного измерения магнитного и электромагнитного полей в зоне активного разлома. В течении суток произошло два сейсмических толчка 6-го энергетического класса (K), где $K = \lg E$, Дж. Перед сейсмическим толчком (14^{30}) уровень ЭМИ резко упал в течение 1,5 часа с 6600 до 18 имп/сек, затем в течение 3 часов медленно возрос до 60 имп/сек, а после землетрясения достиг самого высокого уровня – 7000 имп/сек. В дальнейшем, перед вторым толчком, наблюдались колебания ЭМИ с амплитудой 2000-4000 имп/сек, после землетрясения амплитуда колебаний возросла до 8000 имп/сек.

Похожие результаты получают сейсмологи при регистрации сейсмических шумов в сейсмоактивных зонах: сейсмические шумы (форшоки) в большом объеме ГП и на больших площадях, затем наступает затишье, молчание перед землетрясением. Это явление можно объяснить тем, что сейсмические шумы и ЭМИ вызываются разрушением горных пород в активной тектонической зоне или разрушаемом образце, а затем, после образования плоскости сдвига (трещины раскола), объем которых незначителен, наступает период молчания [16].

Непрерывная запись магнитного поля во время местных землетрясений показала, что поле не постоянно во времени, существуют кратковременные сбросы уровня (рис. 7, 8^{а, б, в}). Величина этих сбросов не одинакова, от 20 до 270 нТ и зависит от силы сейсмического толчка (объема ГП подверженного трещинообразованию и деформации), а также от настройки чувствительности магнитометра.

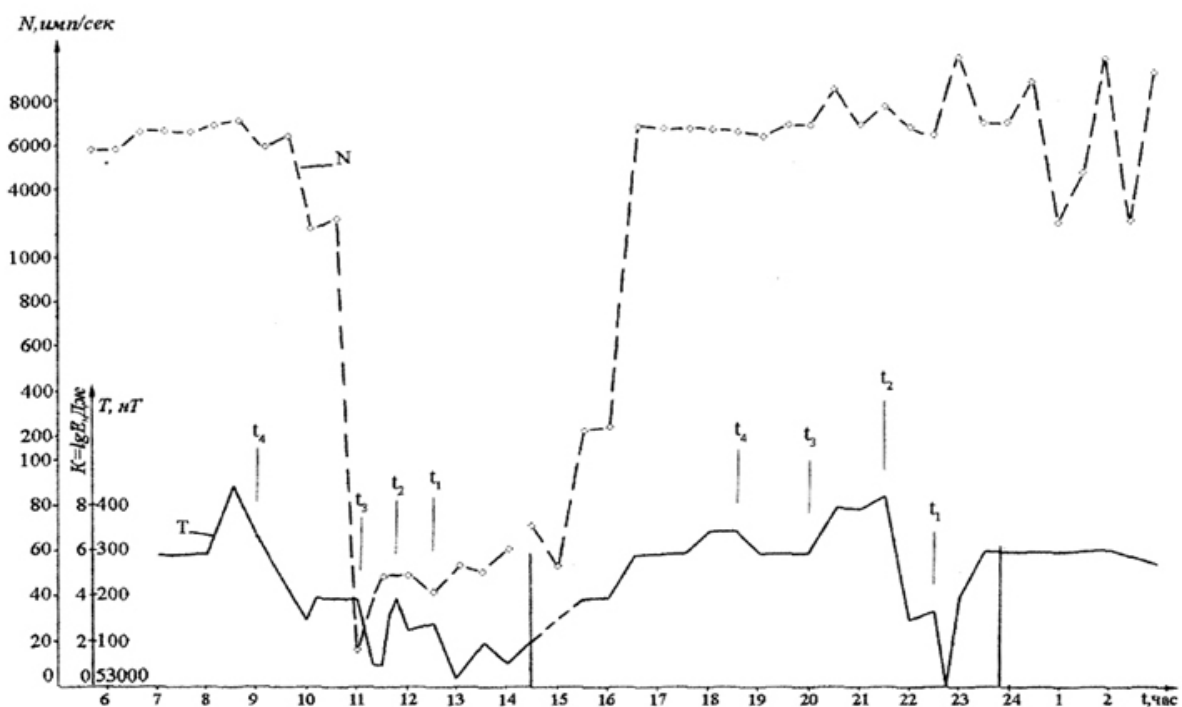


Рис. 7. Графики изменения магнитного и электромагнитного полей при Таштагольских землетрясениях 1988 г.

Сбросы и ступенчатые изменения магнитного поля происходят как на увеличение, так и на уменьшение уровня. На рис. 8,г приведена запись магнитного поля во время проведения массового взрыва рудного блока. Рудный блок был взорван на глубине 600-700 м, запись велась на поверхности, в здании бытового комбината. После взрыва (12^{00}) поле уменьшилось на 40 нТ в течение 2-3 мин., а затем возросло на 60 нТ в течение 8-10 мин. Эксперимент с регистрацией изменений магнитного поля в шахте двумя магнитометрами при размещении магнитометров выше и ниже взрываемого блока отметил ступенчатое изменение поля после взрыва, но направление ступенек было противоположно. Увязка времен сбросов магнитного поля на приведенных рисунках позволила выявить временную закономерность в чередовании сбросов перед землетрясением - усредненные интервалы: $t_1 = 1$ час. 10 мин.; $t_2 = 2$ час.; $t_3 = 3$ час. 20 мин.; $t_4 = 5$ час. Выявленные закономерности в изменении магнитного и электромагнитного полей перед сейсмическим толчком позволяют сказать, что возможен краткосрочный (до нескольких часов) прогноз. При этом следует учитывать, что в каждом сейсмоактивном регионе амплитуда изменения полей и временные интервалы могут быть свои.

Ощутимые февральские землетрясения в Таштаголе заставили внимательно просмотреть имеющиеся данные подземных электрометрических наблюдений (рис. 9). Так на гор. -140 и -210 м в октябре и декабре 1987 г. отмечались противофазные изменения средних значений $c_{кл}$ – признак тектонической активности. За 7 дней до сейсмического толчка (5.02.1988 г., $K=9.6$) на гор. -140 м уровень c_k упал с 1400 до 20 Ом, в это же время на гор. -210 м шел процесс разгрузки горного массива, увеличения c_k . Подобная закономерность наблюдалась при оценке устойчивости бортов Тейского железорудного карьера (Хакасия) в сентябре-октябре 1992 г. В течение 2х недель было проведено 2 цикла геофизических наблюдений, второй цикл был сделан за 2 дня до землетрясения силой в 4 балла, эпицентр которого находился в 40 км к северу от карьера. Уровень c_k на верхних горизонтах снизился (пригрузка верхних слоев земной коры), а на глубине 300 м – увеличился в 4 раза (интенсивный процесс сброса напряжений). Динамика изменений напряжений подтвердилась измерением гравитационного поля: увеличение поля на верхних горизонтах и уменьшение на нижних.

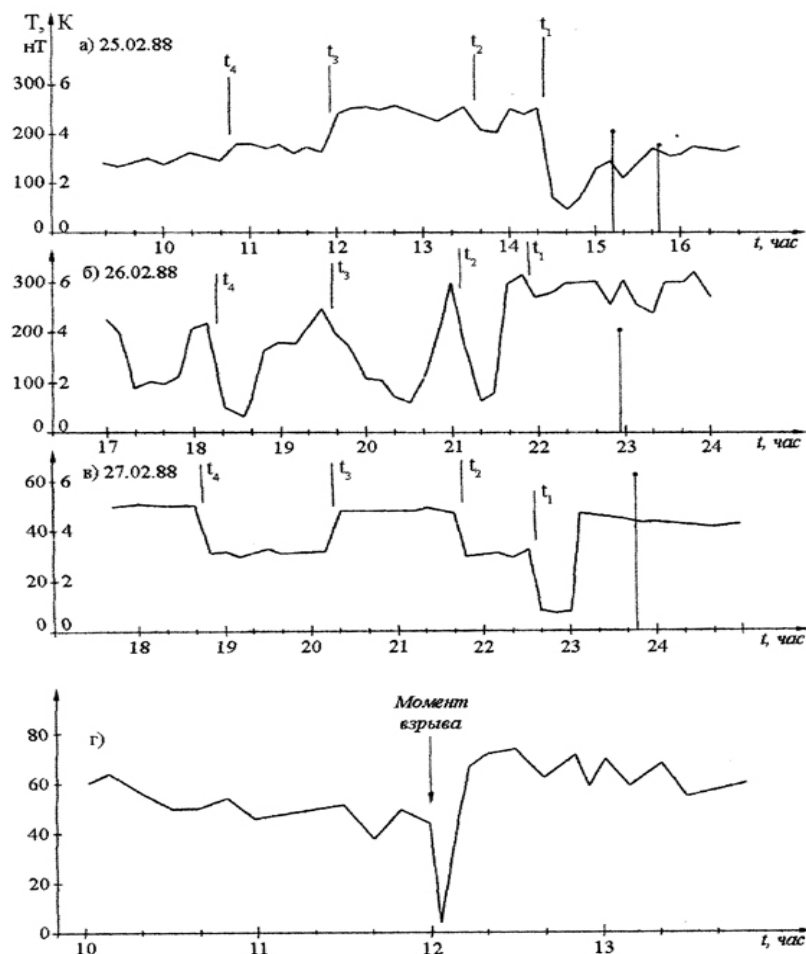


Рис. 8. Графики изменения магнитного поля Земли при землетрясениях (а, б, в,) и при массовом взрыве блока (г).

Более частые замеры по горным выработкам Таштагольского рудника в дальнейшем позволили предсказать сейсмические толчки 20-21 февраля 1988 г. ($K = 8.4; 9.5$) и 26 марта ($K = 9$). Замер уровня c_k на гор. -280 м 18 февраля показал самые низкие (необычные для горизонта) значения ($c_{k, \text{ср.}} = 40$ Омм), в это же время уровни c_k на гор. -140 и -210 м повышались. Мартовские измерения показали иную ситуацию: противофазные изменения c_k на гор. -280 и -210 м, а на гор. -140 м шло резкое уменьшение c_k с 3200 до 1700 Омм – характерные признаки тектонической активности нижележащих горизонтов и накопление энергии в вышележащих слоях, которые и являются прогнозными критериями ожидаемого толчка.

После сейсмических толчков 5 и 9 февраля 1988 г., когда еще не было точных сведений о месте землетрясений и напряженном состоянии горных пород на руднике, работа рудника приостанавливалась и рабочие срочно поднимались на поверхность. Обошлось без человеческих жертв, но два сотрудника участка прогноза горных ударов были травмированы вывалившейся глыбой из кровли забоя.

Электрометрическое обследование горных выработок на рабочих горизонтах 9 и 10 февраля позволило сделать вывод, что опасных (активных) участков в выработках нет и работа рудника была возобновлена. Последую-

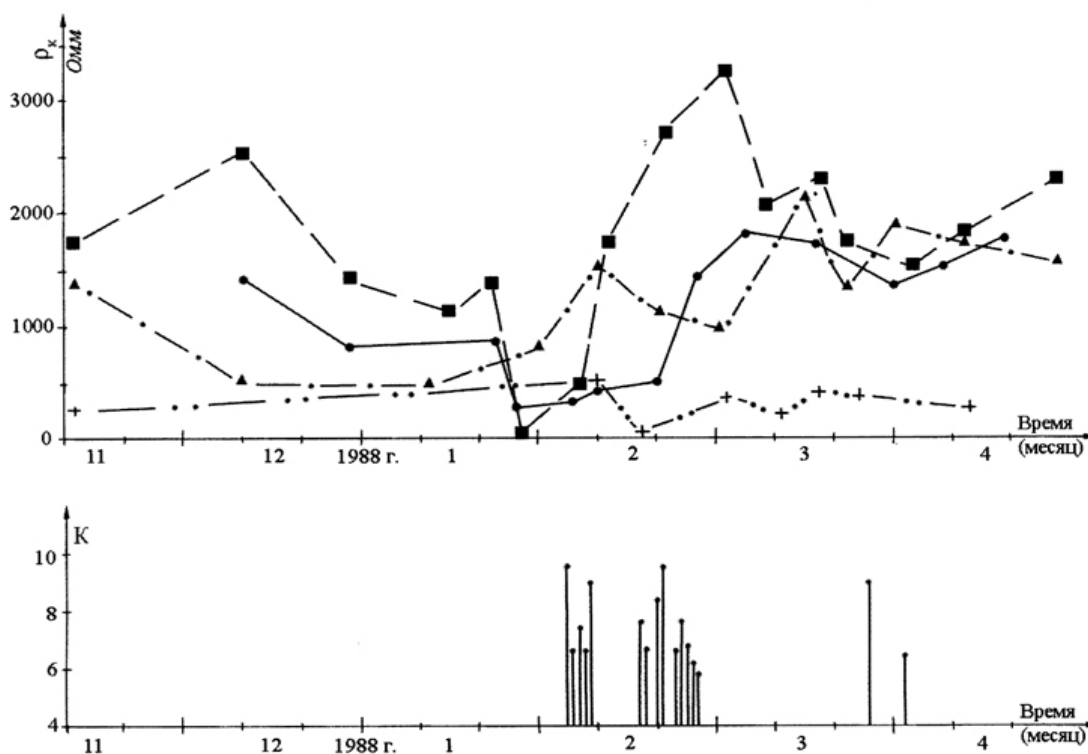


Рис. 9. Графики изменения средних значений ρ_x на горизонтах рудника в период Таштагольских землетрясений 1988 г.

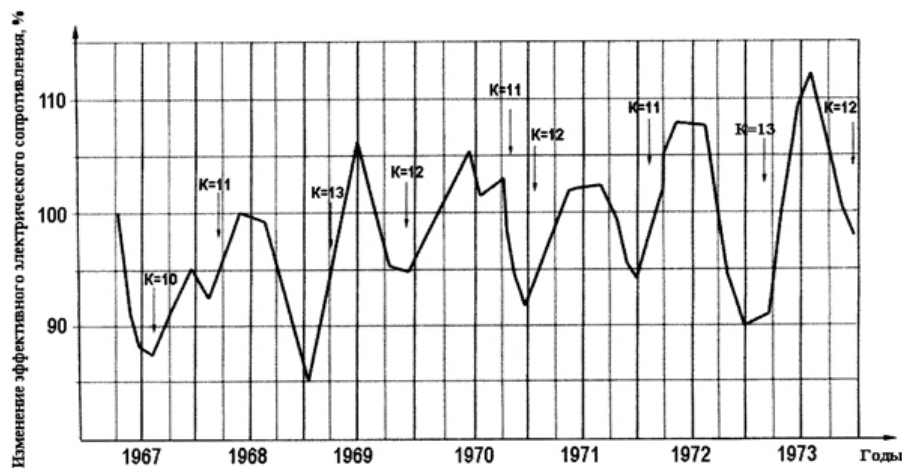


Рис. 10. Вариации электросопротивления горных пород Памира.

щие события на руднике подтвердили прогноз: динамика на шахте резко сократилась, а на некоторых участках даже не проявлялась. Разгрузка напряженного состояния ГП в районе происходила в пределах Кочуринского разлома. До конца 1988 г. сейсмостанция рудника зафиксировала около 800 сейсмических толчков, энергетический класс отдельных толчков достигал 8-10 единиц.

Эксперименты по прогнозу землетрясений проводились с 1967 г. в районе п. Гарм (Таджикистан) сотрудниками Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта. Оценка напряженного состояния горных пород осуществлялась электрометрическим методом, по измеренным уровням c_k [17]. Отмечается: «Систематические наблюдения с 1967 по 1974 год показали, что перед всеми без исключения сейсмическими толчками в районе исследования сопротивление уменьшается» (рис. 10). Аналогичные результаты были получены американцами в 1973-74 гг. при экспериментах на разломе Сан-Андреас (Калифорния). Китайские геофизики при землетрясении 1976 г. в Суньпань-Пинью (магнитуда 7.0) отметили увеличение c_k на расстоянии 50 км от эпицентра, на расстоянии 300 км (в Тунвее) уменьшение c_k на 17% [4]. В этом же году, в период Таншаньского землетрясения (28 июня, магнитуда 7.8) наблюдались противофазные вариации c_k в Чанли (90 км СВ эпицентра) и Сицзи (150 км западнее эпицентра) [18]. Эти результаты подтверждают еще раз факт, что в природе существуют периодические противофазные изменения напряжений в блоках разделенных активным разломом, которые и вызывают их раскачку.

На рис. 10 отчетливо видно, что землетрясения происходят в те моменты, когда уже идет процесс увеличения c_k после достижения своего минимума, с отставанием на 1-3 месяца. По поводу изменения c_k ГП под действием изменяющихся напряжений (давлений), проведенных в лабораторных условиях, существует несколько теорий, где преобладающее влияние оказывает давление поровой жидкости, дилатансия или дилатантно-диффузивный процесс. По мнению автора, главным фактором в естественных природных условиях является процесс накопления и сброса

напряжений в земной коре. Резкий сброс длительно накапливаемой энергии каким-либо горизонтом ГП земной коры приводит к его увеличению в объеме и к срыву блоков имеющих значительную амплитуду раскачки вдоль активного разлома.

Идея разработки методики прогноза землетрясений на основе подземных электрометрических наблюдений дала положительные результаты. Для анализа приведены три примера электрометрических наблюдений и записей землетрясений на Таштагольском руднике в 90 годах (рис. 11, 12, 13) 20-го века. На рис. 11 приведены графики изменений средних значений c_k на гор. -70, -140, -210, -280 м и зафиксированных землетрясений в радиусе 300 км на период июль – октябрь 1992 г. С 10 августа и по 10 сентября сейсмостанция зафиксировала 6 местных сейсмических толчков, 12 октября произошло землетрясение силой в 4 балла в Хакасии (п. Беркчуль). Перед началом сейсмической активности, к 20 июля, средние уровни c_k на гор. -280, -210 и -70 м достигли своего минимума, исключением являлся только гор. -140 м, где произошло незначительное повышение c_k . Далее наблюдается процесс разгрузки ГП (сброса напряжений) – на гор. -280 м уровень c_k возрос в 3 раза, а на гор. -140 м начал понижаться. После начала землетрясения (с 10 августа), уровень c_k на гор. -280 м начал понижаться, а на вышележащих гор. (-70 и -210 м) продолжал повышаться. В первую декаду октября произошла смена знака приращения c_k на гор. -210 и -280

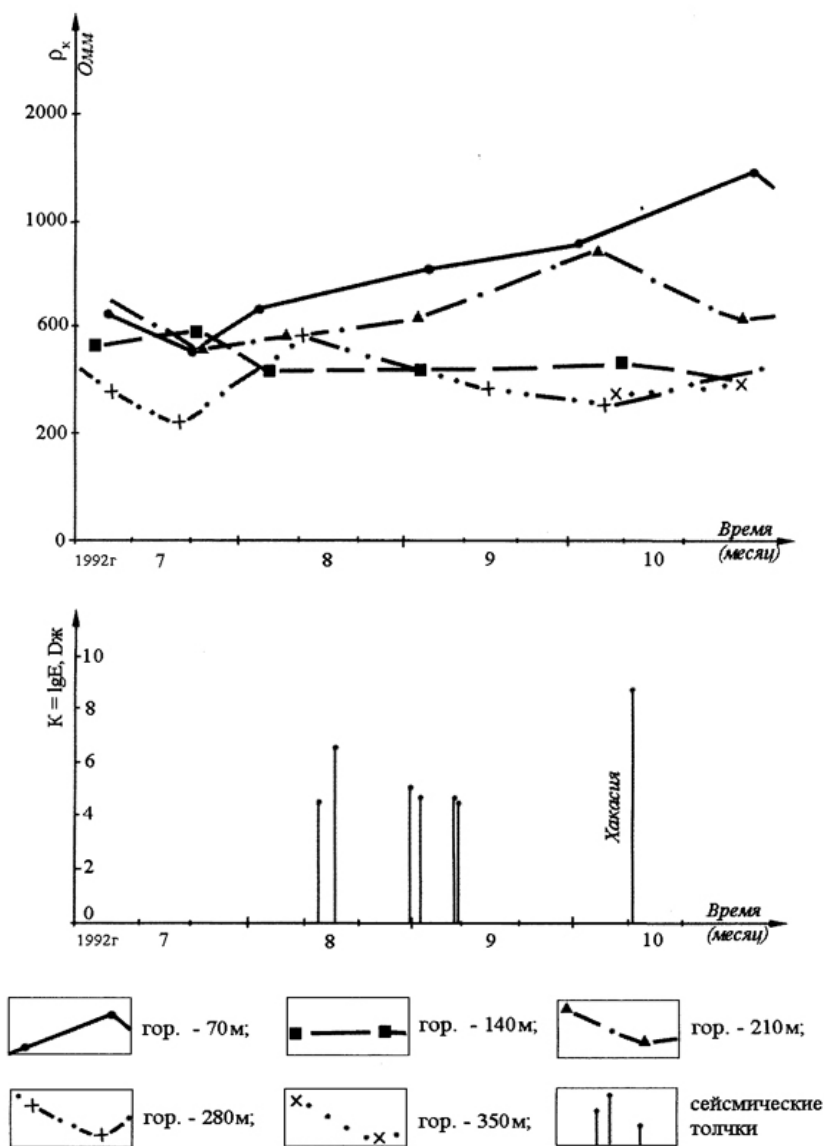


Рис. 11. Графики средних значений c_k по горизонтам Таштагольского рудника и местных сейсмических толчков.

м, начался процесс разгрузки ГП на нижних горизонтах, который отметился землетрясением с $K=9$ в Хакасии. Подобное увеличение уровней c_k с 10 декабря 1992 г. на всех горизонтах отметилось началом сейсмической активности (произошло 29 местных сейсмических толчков до августа 1993 г.) и взрывами метана на шахтах им. Шевякова и Томской в г. Междуреченске. При взрывах погибло 25 шахтеров и шахта им. Шевякова, из-за подземного пожара и последующего затопления, была закрыта. В зимний период 1992-1993 годов в вырытых котлованах и траншеях строительных площадок г. Междуреченска отмечалось интенсивное выделение метана.

В период Прокопьевского 5-ти балльного землетрясения (14.9.1995) тектоническая активность выразилась в виде землетрясений и интенсивного выделения метана на шахтах Кузбасса, со взрывами газа и угольной пыли, приведшим к многочисленным человеческим жертвам (рис. 12).

Землетрясение произошло около 13 часов местного времени. Толчок сопровождался гулом, который слышали жители близрасположенных городов и поселков в радиусе до 50 км. Жертв и сильных разрушений не было, но образовались многочисленные трещины в многоэтажных домах, и ветхих каменных сооружениях. Население юга Кемеровской области, уже испуганное Зайсанским землетрясением 1990 г., Монгольским - 22 июля 1995 г., срочно покинуло высокие здания и собралось во дворах. Некоторые предприятия и шахты приостановили свою работу. На следующий день в г. Прокопьевске снова не работали некоторые шахты, областной штаб ГО и ЧС предупредил о возможном повторении толчков. Отсутствие информации о тектонической активности региона вызвало неразбериху в действиях руководства области, не говоря уже о населении, где ходили самые невероятные слухи. Перед этим, 22 июня 1995 г. произошло землетрясение силой 5-6 баллов на стыке Монголии, Тувы и Республики Алтай, которое ощущали жители юга Кемеровской области. В июле - августе сейсмостанция зарегистрировала 4 местных толчка 4-6 энергетического класса. С 20 июля и до середины августа на горизонтах -350 и -280 м шло понижение уровня c_k , - увеличение напряжений. На вышележащих горизонтах – противофазные изменения уровней c_k . С середины августа на всех горизонтах отмечено повышение уровня c_k , более интенсивно происходил процесс разгрузки на гор. -280 м, где за 24 дня уровень c_k увеличился в 10 раз, с 200 до 2000 омм.

Резкий сброс напряжений в слоях ГП мощностью до 1 километров проявился землетрясением силой 5 баллов, эпицентр которого находился в 15 км южнее г.Прокопьевска и в 33 км западнее г. Новокузнецка. Это результат активизации протяженного Тырганского надвига, тектонического контакта угольных отложений Кузбасса и древних пород Салаира, или одного из оперяющих его разломов. Активизация Тырганского надвига уже в начале лета начала проявляться обвалами кровли горных выработок на шахтах Прокопьевско-Киселевского района. В конце июля произошел взрыв на шахте Красногорской, погибло 10 человек. После землетрясения на многих шахтах района отмечалось повышенное выделение метана.

Сложная горно-геологическая обстановка и влияние активного Тырганского надвига являются главными причинами непрекращающихся аварий и взрывов в этом районе. Само название Тырган, в переводе с тюркского – «дрожящая гора», говорит об его активности в древности. За 10 дней до землетрясения (4.9) произошел взрыв газа и угольной пыли на шахте Первомайской (г. Березовский), погибло 16 человек. Во время проведения сотрясательного взрывания, для снятия напряжений в ГП и пластах угля, было спровоцировано газодинамическое явление с последующим взрывом. Сотрясательное взрывание было проведено без учета тектонической активности региона и без оценки напряженного состояния ГП в шахте. За 3 дня до землетрясения (11.9) на шахте им. Ленина (г. Междуреченск) произошло обрушение очень устойчивой кровли при проходке горной выработки. Крепление кровли осуществлялось анкерами длиной до 2^x м, толщина вывалившихся блоков достигала 4^x м.

Повторное землетрясение под г. Прокопьевском, произошедшее 5.08.1998 г. около 11 часов вечера по-местному времени, снова потревожило и напугало жителей южного региона. По данным

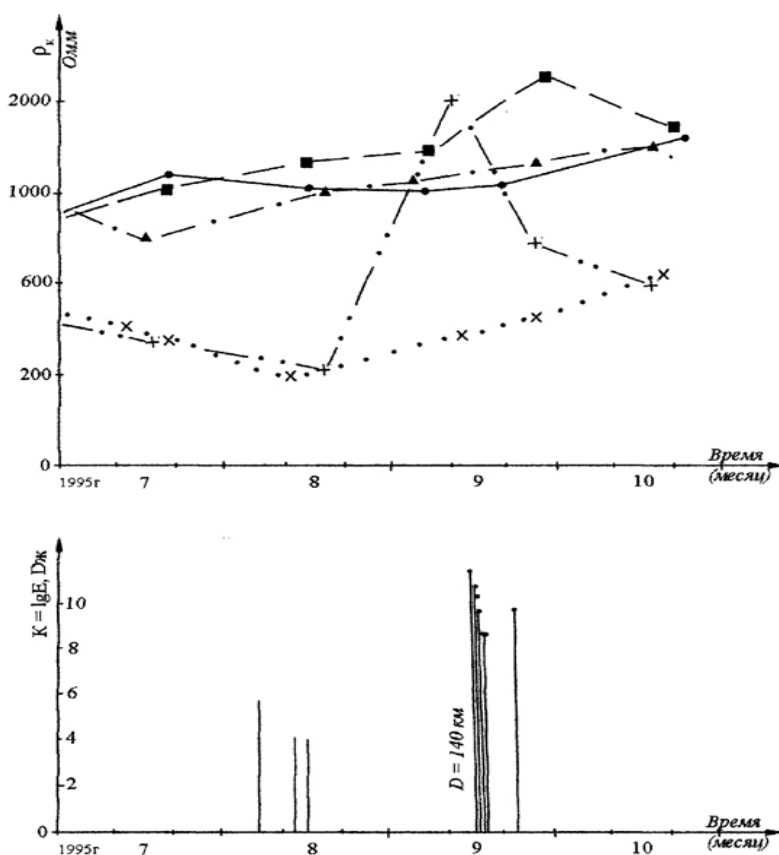


Рис. 12. Графики средних значений c_k на горизонтах Таштагольского рудника в период Прокопьевского землетрясения 14.9.1995 г.

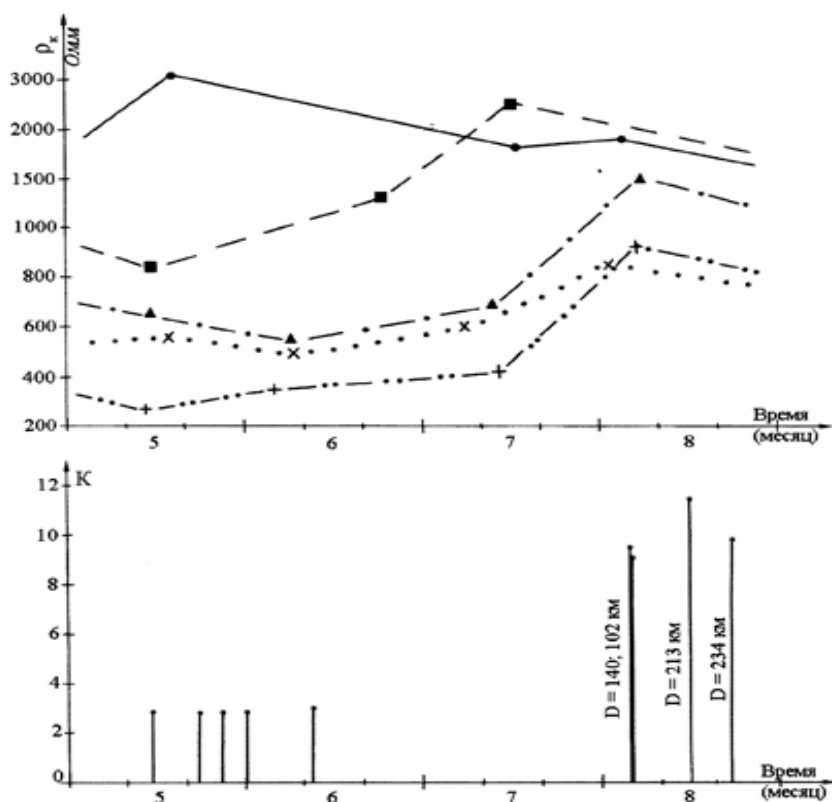


Рис. 13. Графики изменения средних значений ρ_k на горизонтах в период Прокопьевского землетрясения 5.8.1998 г.

Алтае-Саянской сейсмической экспедиции (г. Новосибирск) сила сейсмического толчка не превышала 4^б баллов, эпицентр находился в том же районе, где уже было землетрясение 14.09.1995 г. По данным подземных электрометрических наблюдений тектоническая активность в регионе изменялась следующим образом. С января 1988 г. на гор. -350 и -280 м наблюдалось постепенное уменьшение уровня c_k , шел процесс увеличения напряжений, который в середине мая изменился на обратный. Изменение знака приращения напряжений отметилось 5-ю местными сейсмическими толчками (рис. 13).

Одновременно на вышележащих горизонтах (-70 и -140 м) отмечаются противофазные изменения уровня c_k , с середины июля началась более интенсивная разгрузка ГП нижних горизонтов, которая выразилась землетрясением под г. Прокопьевском и еще 2-мя мощными толчками на удалении более 200 км. Очень редкие замеры c_k на горизонтах рудника не позволяют вести более точный

мониторинг тектонической активности региона, для этого необходимо проводить наблюдения не реже 3 - 4 раз в месяц.

Анализ результатов многолетних определений c_k ГП для прогноза землетрясений (рис. 10) и оценки напряженного состояния горных пород на действующем руднике позволяет сделать 2 основных вывода:

1. Подземные электрометрические наблюдения на нескольких горизонтах дают возможность оперативно осуществлять оценку тектонической активности региона и прогнозировать « тектоническую погоду» на 1 - 2 месяца вперед.

2. Прогнозировать землетрясения силой более 3-4 баллов в радиусе до 200-300 км от пункта наблюдений.

Для успешного решения этих задач необходимо выполнять следующие требования:

1) проводить регулярные геофизические наблюдения не реже 3 раз в месяц по всем пригодным для работы горизонтам, при необходимости увеличить количество замеров (циклов) в месяц;

2) для осуществления временного прогноза землетрясения с точностью 1 - 7 дней в регионе необходимо иметь минимум 3 - 5 примеров геофизических наблюдений в период происшествя местных землетрясений силой более 3 баллов.

Временной прогноз осуществляется без указания места и мощности ожидаемого землетрясения, если расположение и размеры активного разлома не известны.

Для каждого региона время ожидаемого землетрясения может быть различным, т.к. оно зависит от состава горных пород и величины подвижных блоков или протяженности активного разлома, т.е связано с периодом подготовки землетрясения.

Попытка прогноза землетрясений по изменению магнитного поля Земли в Кузбассе проводилась еще в 1898 г., в период 8-балльного (по 10-балльной шкале Росси-Фореля) Кузнецкого землетрясения. Очевидец тех событий геолог И.П. Толмачев писал в своем отчете: «Перед Кузнецким землетрясением 7 (19) июня 1898 г., еще в мае месяце, братья Денисьевы установили у себя во дворе компас для прогноза землетрясений. Колебания стрелки компаса они не раз замечали в конце мая и в первых числа июня. 7 июня они заметили колебания магнитной стрелки за несколько минут до и после самого большого полуденного толчка» [19].

Краткая методика прогноза землетрясений

1. Анализ имеющейся геолого-геофизической информации для составления тектонических карт (схем) региона различного масштаба с учетом результатов дешифрирования топооснов и аэро-, космо-, фотоматериалов.

2. Проведение геофизических работ по выявлению активных разломов и определению тектонической активности региона:

- плановые наземные геофизические работы по оперативному выявлению активных разломов и определению их стадии и степени тектонической активности в радиусе до 150 км от крупных городов, промышленных объектов;

- одновременные или опережающие геофизические измерения в шахтах, глубоких карьерах для оценки тектонической активности региона и возможного временного прогноза землетрясения силой более 3 - 4 баллов в радиусе до 200 - 300 км от центра измерений без указания места и мощности сейсмического толка – измерения в нескольких центрах позволяют получить более объективную информацию о тектонической активности региона и выявить более активный район.

3. Дальнейшее продолжение геофизических работ по уточнению местоположения и размеров активных разломов, определению точных (более вероятных) значений K_m .

4. Постановка регулярных геофизических работ, наблюдений за уровнем грунтовых вод, газовых выделений и создание стационарных сетей наблюдений в пределах высокоактивных разломов для краткосрочного прогноза ожидаемого землетрясения.

Литература

1. Страхов В.Н. К новой парадигме. Природа, 1989, №12, с. 6-7.
2. Гир Дж., Шах Х. Зыбкая твердь. М., Мир, 1988, 224 с.
3. Торгаев Н.М. Прогнозирование горных ударов с использованием электрометрического метода. Горный журнал, 1990, №6, с. 52-57.
4. Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений. М., Мир, 1975, 390 с.
5. Асада Т., Исибаси К., Матсуда Т. и др. Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии. М., Мир, 1984, 312 с.
6. Гравиметрические исследования на угольной шахте Польши. Bergbautechnik, 1982, №3.
7. Гравиметрические исследования на угольной шахте «Готвальд». Bergbautechnik, 1983, №1
8. Стопинский В. Анализ измерений c_p горного массива в условиях горных разработок. Публикации института геофизики Польской Академии наук, научное государственное издательство Варшава-Лодзь, 1986.
9. Райс Дж. Механика очага землетрясения. М., Мир, 1982, 217 с.
10. Садовский М.Н., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М., Наука, 1987, 101 с.
11. Землетрясения в СССР в 1984 г. М., Наука, 1987
12. Левин В.В. Цунами и моретрясения в океане. Природа, 1996, 5, с. 48-61.
13. Колмогоров В.Г., Колмогорова П.П. Изучение деформаций земной поверхности в районе Таштагольского железорудного месторождения. Геология и геофизика, 1995, т. 36, № 11, с. 116-124.
14. Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов. Геологическое изучение и использование недр. Информационный сборник. М., 1996, № 4, с. 43-53.
15. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сеймотектонических деформаций. М., Наука, 1990, с. 173.
16. Сагалова Е.А. Реализация долговременного прогноза в зоне Вранча (Карпаты). Наукова думка, Киев, Геофизический журнал, 1987, т. 099, № 6, с. 84-94.
17. Барсуков О.М. Электропроводность горных пород и землетрясения. Земля и Вселенная, 1979, № 6, с. 16-19.
18. Моги К. Предсказание землетрясений. М., Мир, 382 с.
19. Толмачев И.П., Кузнецкое землетрясение 7 (19) июня 1898 года. Известия постоянной центральной сейсмической комиссии. Выпуск 1, С.-Петербург, 1902, с. 290-312.

Примечание ред.

Данная статья опытного инженера-геофизика Николая Михайловича Торгаева посвящена актуальной теме – прогнозу землетрясений. Несколько сумбурный характер изложения и излишняя объемность затрудняют ее восприятие, но в целом статья заслуживает внимания. У автора не было возможности вести наблюдения систематически, по определенной программе, но искреннее желание помочь руднику, а позднее - и региону, избежать жертв от «горных ударов» и землетрясений заставило искать, пусть где-то опробованные, но нетрадиционные пути их прогноза. В 1980-е годы он был пионером подобных работ в Сибири и СССР. Не все удалось. Методика требует доработки. Но нет и других подобных примеров. Надо отметить, что и сейчас на рудниках кроме редких пассивных сеймонаблюдений ничего для прогноза не делается. Поприветствуем энтузиаста и пожелаем ему успеха.