

Литература

1. Гуревич Г.И. Деформируемость сред и распространение сейсмических волн. М.: Наука, 1974. 350 с.
2. Руководство по применению инженерной сейсморазведки при изысканиях для строительства / ВНИИ-73. Росглавнистройпроект, М.: 1973. 194 с.
3. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. М., Недра, 1973.
4. Отчет «СКО ПНИИИС» Сейсмическое микрорайонирование г. Грозного, 1984 г.
5. Отчет «СКО ПНИИИС» Сейсмическое микрорайонирование г. Махачкала, 1988 г.

Реакция объектов сети мониторинга ГГД-поля Северного Кавказа и физических полей на подготовку землетрясения 25.12.2001г.

Л.Д. Пруцкая, О.Н. Круткина, В.А. Моргунов, А.Г. Здоров
ФГУПП «Кавказгеолсъёмка»

На основе оперативного анализа данных мониторинга ГГД-поля по 20 пунктам, электромагнитного излучения по трем станциям и ежесуточных проб гелия спонтанного в скважине выделены аномальные возмущения характерные для процесса подготовки землетрясения. По совокупности проведенных ранее исследований и состоянию геофизических полей в контролируемом районе дан заблаговременный научный прогноз времени, района расположения эпицентра и бальности локального землетрясения $M = 4,7$ на территории Ставропольского края.

Мониторинг уровней подземных вод (УПВ) по 20 постам с целью сейсмопрогноза проводится на Северном Кавказе Федеральным государственным унитарным геологическим предприятием "Кавказгеолсъёмка" уже более 20 лет по постоянным объектам, с непрерывной записью. Параллельно (по каждому посту) проводится мониторинг атмосферного давления, с привлечением данных по лунно-солнечным приливам и атмосферным осадкам. Исследования гелия в спонтанной фазе (скважина 1-НВ, Эссентуки, глубина 889-898.4м) ведутся более 15 лет, отбор проб производится ежесуточно со стопроцентным контролем. Исследования краткосрочных предвестников землетрясений по методу регистрации импульсного электромагнитного излучения (ЭМИ) были начаты на Кавминводском (КМВ) полигоне ФГУПП "Кавказгеолсъёмка" (г. Эссентуки) совместно с ОИФЗ РАН в 1990 г. До середины 1999 г. измерения выполнялись аналоговой аппаратурой ДЭИ-001 на трех пунктах: Шаджатмаз с 1990 г., Белый Уголь и Юца с 1991 г. С середины 1999 г. на полигоне внедрена цифровая телеметрическая станция Аларм-001, разработанная в ОИФЗ РАН. Центральный блок станции, сопряженный с персональным компьютером, был установлен на пункте Белый Уголь, а ведомый в 34 км на юго-восток – на Шаджатмазе. Аппаратура выполняет синхронные измерения и обработку сигналов ЭМИ методом счета импульсов в двух диапазонах: низкочастотном 1-3 кГц и высокочастотном 81 ± 1 кГц на обоих пунктах. Если учесть, что в год происходит до 100 землетрясений потенциально влияющих на режимы УПВ наблюдательных постов, можно считать, что на настоящий момент нами накоплен опыт достаточный для выявления, оценки и систематизации разнородных предвестниковых эффектов.

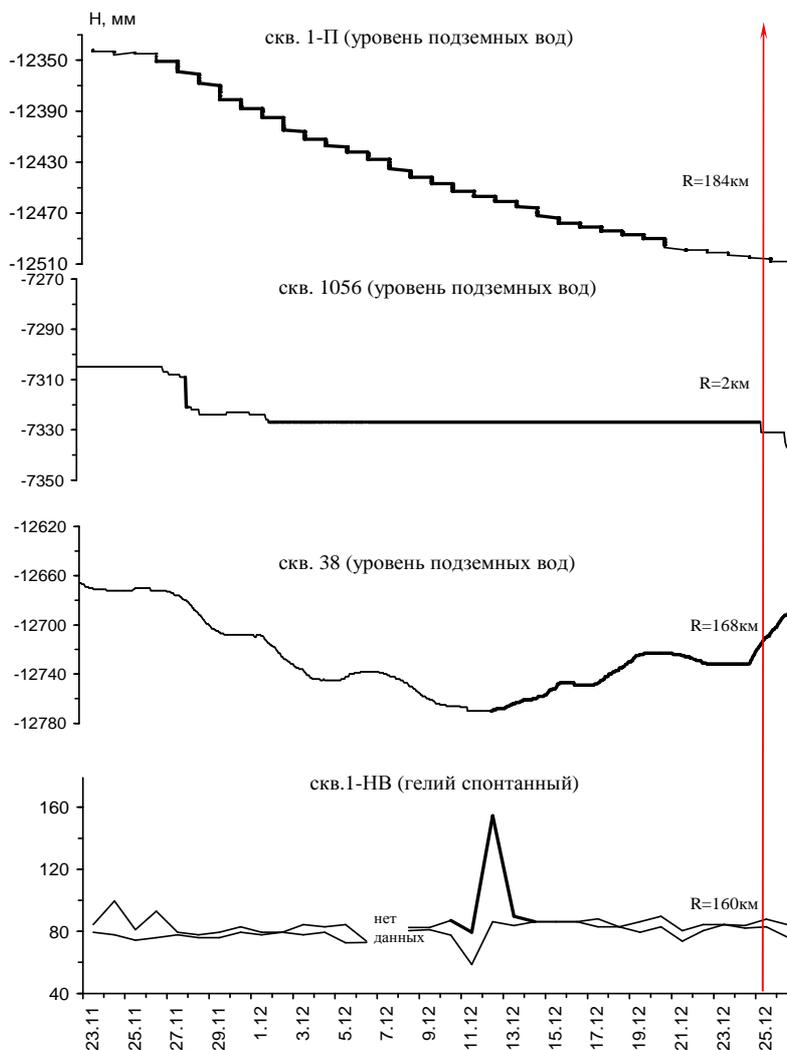
К настоящему времени проведен детальный анализ многочисленных случаев проявления гидродинамических эффектов – долго-, средне- и краткосрочных, описаны и систематизированы все виды предвестников, отмечавшихся по постам режимной сети за время наблюдений. Наряду с изучением индивидуальных гидродинамических эффектов, ведётся контроль динамики напряженности геологической среды с построением «карт-схем напряженности геологической среды». Такое поле отличается от известного ГГД-поля Куликова-Вартаняна и позволяет проследить характер краткосрочных (представленных в сопоставимом виде) изменений УПВ по площади. С целью уточнения прогнозных характеристик расположения эпицентров проанализирована индивидуальная реакция наблюдаемых параметров на землетрясения, возникшие в различных структурно-тектонических условиях.

Ретроспективный анализ накопленных данных по ЭМИ на Кавминводском полигоне, в сопоставлении с сейсмичностью, позволил внедрить новый методический прием в интерпретации аномальных вариаций, заключающийся в частотной селекции зарегистрированных аномалий. Он основан на эмпирически установленных закономерностях на примере предвестниковых вариаций, зарегистрированных перед сильным удаленным Джава-Рачинским землетрясением 1991г. [2] и перед слабыми локальными землетрясениями района КМВ [3], и сводится к следующему: если аномалия зарегистрирована в низкочастотном диапазоне и по своим морфологическим признакам отнесена к предвестниковой, то следует прогнозировать слабое местное землетрясение; если аномалия зарегистрирована только на высокой частоте – то возможно ожидать дальнейшее землетрясение.

В результате разработана универсальная методика обработки фактического материала по комплексу признаков, позволяющая сопоставлять данные, полученные по скважинам с различными гидрогеологическими характеристиками, учитывать влияние таких режимообразующих факторов, как атмосферное давление и земноприливные вариации, тренд УПВ; фиксировать и интерпретировать геофизические и газогидрохимические аномалии. Опробована и применяется (1997г.- настоящее время) для территории Ставропольского края схема оперативного контроля сеймотектонической ситуации [4], что сделало возможным своевременный прогноз землетрясения 25.12.2001г.

Двадцать третьего декабря 2001г. активизировался сейсмический очаг на юго-востоке Ставропольского края (120км от Пятигорска), в тектонической структуре первого порядка, разделяющей Герско-Кумскую и Герско-Каспийскую впадины - зафиксированы три форшока с максимальным классом 10,3, основное событие произошло 25.12.01 в 6:02:59GMT с расчетной интенсивностью 5 баллов (служба срочных донесений ГС РАН). Закономерно, что подготовка данного сейсмического события повлекла достаточно крупные предвестниковые аномалии по большинству групп наблюдаемых параметров. Это дало возможность прогнозировать время, место и интенсивность землетрясения.

Первыми были зафиксированы гидродинамические предвестники (Рис. 1). По скважине 1-П, пробуренной в зоне влияния Черкесского разлома, с 26 ноября по 1 декабря наблюдалось понижение уровня, интенсивность которого в 2-3 раза превышала средние показатели и не могла быть объяснена влиянием обычных режимобразующих факторов.



($M=3,7$ $I_0=5$ баллов $H=10$ км). Аномалии выделены утолщением линий. Стрелкой вынесен момент землетрясения.

Рис.1 Реакция наблюдательных постов на землетрясение 25.12.2001г.

Наряду с вышеописанной аномалией, наблюдались многочисленные практически мгновенные изменения УПВ, вплоть до момента землетрясения. В это же время процесс подготовки землетрясения отразился на динамике УПВ по посту 1061, находящемуся в активной структуре. 29.11.01г. в течение 1-2 часов произошло понижение уровня на 12 мм, а со 2.12.01 УПВ стабилизировался с нулевым трендом и отсутствием барических и приливных вариаций (прибор писал прямоую), релаксация произошла в момент основного толчка. По скважине 729 (активная структура, западнее 1061) 15.12.01 наблюдалась в течение 1-2 часов положительная аномалия 10мм. По скважине 38 (активная структура, севернее эпицентра) с 12.12.01 тренд УПВ изменился с отрицательного на положительный, с резким увеличением градиента в день землетрясения, за двое суток до толчка нарушилась реакция на изменения атмосферного давления. Релаксация произошла после землетрясения. Несколько позже (с 20.12.01) отмечены многочисленные мгновенные аномалии, на фоне деформированной приливной волны по скважине 2-П, пробуренной в зоне влияния Эльбруско-Ессентукской зоны трещиноватости и Армавиرو-Невинномыско-

Нальчикской тектонической зоны. Основное событие произошло на фоне динамического равновесия, установившегося 24.12 с 16 часов и длившегося ровно сутки, после чего аномалии релаксировали.

Двенадцатого декабря 2001г. впервые за последние четыре года в одной из проб спонтанного газа по скв.1-НВ возросла концентрация гелия на 68% (Рис.1). Что, исходя из нашего опыта, свидетельствует о появлении раскрытой тектонической структуры в радиусе до 250 км от пункта наблюдений. Так, максимальное (на 0,07-0,09об. %) повышение концентраций растворенных в подземных водах (по ряду скважин Кавминвод) газов в феврале-марте 1984г.- гелия и метана и радона в 1,5-2 раза, за период с 1982 по 1984г.г. предвещало и сопровождало рой 5-6 балльных землетрясений к юго-западу от Грозного. Нужно подчеркнуть, что за несколько месяцев до землетрясений в этих же скважинах произошло понижение гелия и метана в спонтанной фазе и углекислоты растворенной, что характеризует термодинамически неустойчивую область [6].

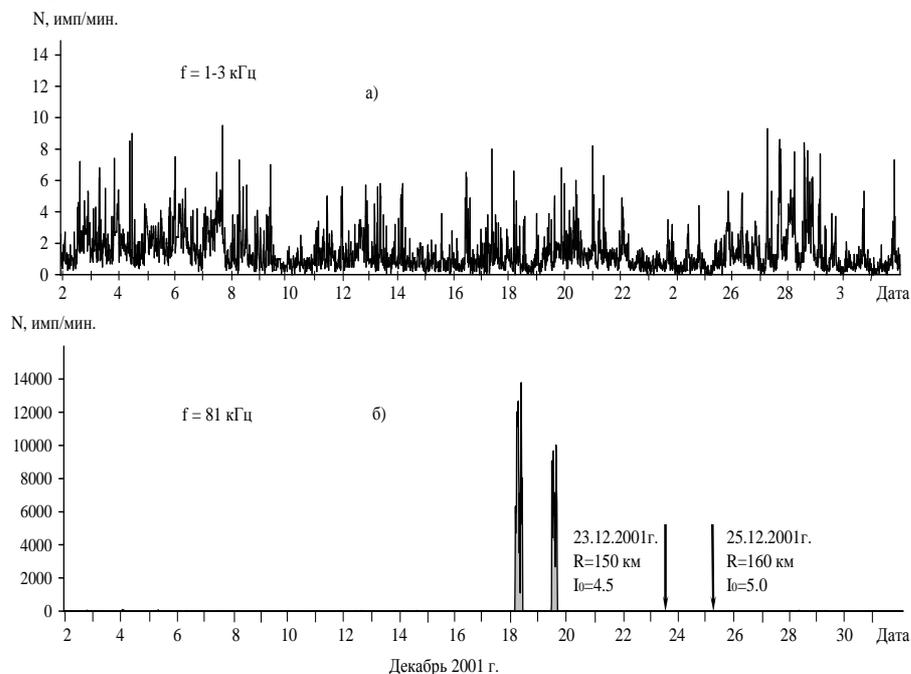


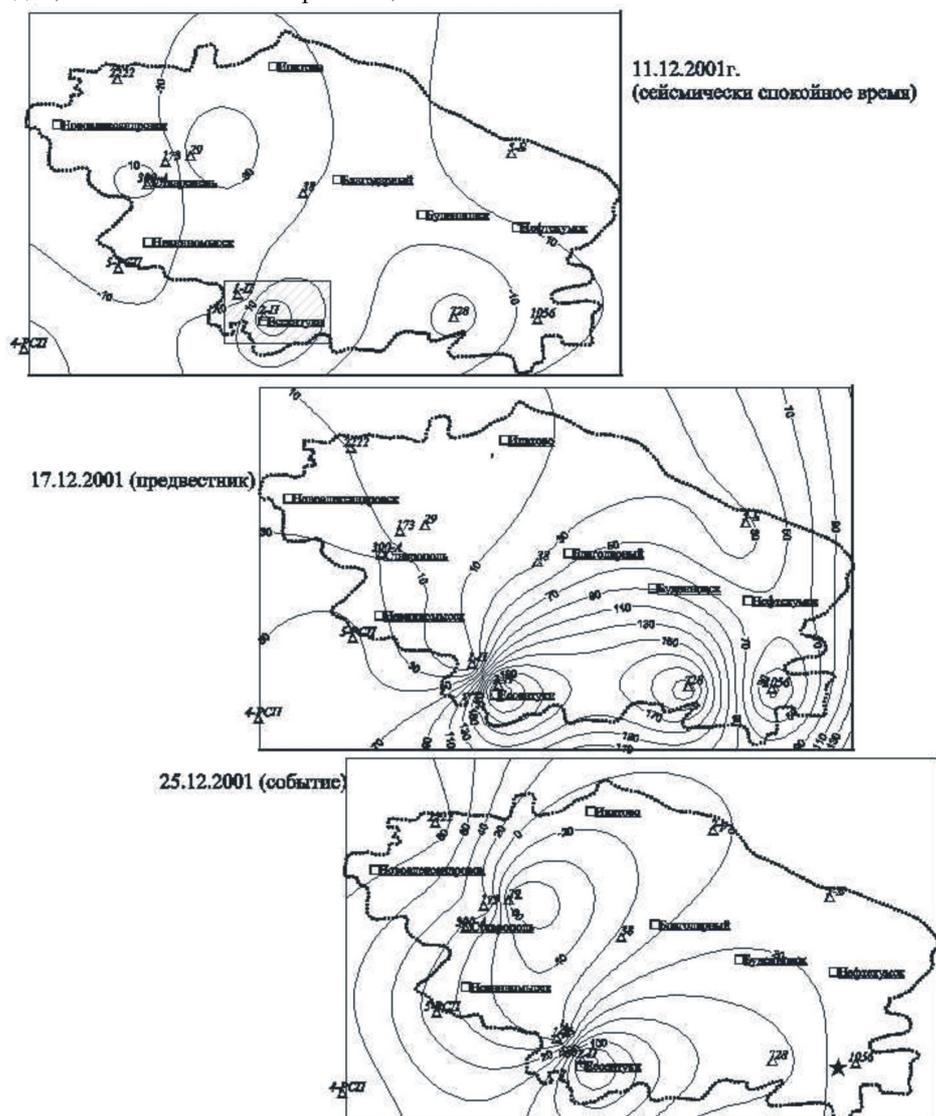
Рис. 2 График вариаций скорости счета импульсов ЭМИ в пункте Белый Уголь Кавминводского полигона в декабре 2001 г. на частоте 1-3 кГц (а) и 81 кГц (б). Стрелками указаны моменты землетрясений.

Подтверждением тезису об удалённости потенциального сейсмического очага служит наличие и характер геофизических аномалий. Кривые вариаций скорости счета импульсов ЭМИ, приведенные на рис. 2, иллюстрируют наличие двух контрастных, превышающих уровень фона на 60 дБ, аномальных всплесков 18 и 19 декабря продолжительностью примерно по 4 часа в пункте Белый Уголь на частоте 81 кГц и их отсутствие в низкочастотном диапазоне. Аномальные вариации ЭМИ не наблюдались в низкочастотном диапазоне на всех пунктах полигона. В пункте Шаджатмаз в эти периоды измерения не проводились из-за отключения электроэнергии. Наличие аномалий электромагнитной природы позволило уточнить также и время возникновения землетрясения, поскольку ЭМИ, как уже отмечалось выше, обладает только краткосрочным (до 5суток) предвестниковым эффектом.

В результате (при анализе только приведённых выше параметров) невыясненным оставалось местоположение эпицентра грядущего землетрясения. Хотя длительное отсутствие вариаций по скважине 1061 позволяло предположить приуроченность последней к активной структуре [5]. Тезис о наличии «динамического равновесия» в очаговой зоне непосредственно перед событием подтверждается работами Института динамики геосфер [1]. При построении полей напряженности геологической среды, для анализа динамики ГГД-поля, предположение о вероятном эпицентре подтвердилось (Рис. 3). Изменения ГГД-поля в этот период выглядели следующим образом: первые аномальные значения отмечены с пятого декабря текущего года, к 17 декабря появились стойкие критические показатели напряженности, в связи с чем был отправлен первый официальный прогноз развития сеймотектонической ситуации. Критические напряжения на востоке региона сохранились вплоть до основного толчка, к ним добавились описанные выше геофизические аномалии.

Характер предвестникового процесса может объясняться, существующим мнением о том, что северным ограничением Терско-Каспийского прогиба является продолжение погребённого Черкесского разлома. Который, в данном случае, является проводником сигнала, что прекрасно иллюстрируется наличием реакции по постам расположенным в активной структуре, непосредственно на разломе, либо в узлах пересечения последнего с другими тектоническими нарушениями. Наблюдательные скважины находящиеся ближе территориально, в сопредельных тектонических структурах, на подготовку данного события не реагировали, видимо в данном случае нарушение играет роль «экрана».

В заключение авторы хотели бы отметить, что при бесперебойном мониторинге максимально возможного количества объектов геологической среды и их комплексном анализе возрастает как репрезентативность выводов, так и возможность прогноза, как такового.



2-П
 Δ - пост ГГД-мониторинга; σ - изолинии напряженности (положительные – сжатие, отрицательные – растяжение); ★ - эпицентр землетрясения; - граница Ставропольского края; \square - контур Кавминводского полигона.

Рис. 3 Динамика напряженности геологической среды в связи с сейсмическим событием 25.12.01;

Литература

1. Дубровский В.А., Сергеев В.Н.// Тектоника неогена: общие и региональные аспекты, Т1, Материалы XXXIV Тектонического совещания – М.: ГЕОС, 2001, 222-225
2. Здоров А.Г., Матвеев И.В., Моргунов В.А., Рахмин Е.П. // ДАН. 1992. Т33. №2. С.258-262.
3. Здоров А.Г., Моргунов В.А. // ДАН. 1997. Т357. №2. С. 243-246.
4. Круткина О.Н., Пруцкая Л.Д., Здоров А.Г., Оперативный прогноз сейсмогеодинамической обстановки в Ставропольском крае// деп. в ВИНТИ №1850, 2001г., 179 стр.
5. Пруцкая Л.Д., Островский А.Б., Круткина О.Н., Батурина Н.В., Растос Л.В.// Сборник трудов ИЛСАН РАН, Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг, вып.3, Москва,1999, 132 –137
6. Пруцкая Л.Д., Растос Л.В., Батурина Н.В., Бабак Э.В.// Матер. 9 Международной научно-практической геологической конференции. Статьи и тезисы докладов «Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа», Ессентуки ГУПП «Офсет», 2000г., с. 263-266