

УДК 550:343

О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА

Д. Г. Таймазов^{1,2}, С. А. Мамаев²,
А. Д. Абакаров³, М. Д. Таймазов²

¹Дагестанский филиал Геофизической службы РАН

²Институт геологии ДНЦ РАН

³Дагестанский государственный технический университет

Описывается состояние и перспективы дальнейшего развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана и других сейсмоактивных регионов на базе инновационных разработок авторов.

The authors describe the status and prospects of further development of the seismic safety of the territory of Daghestan and other seismically active regions on the basis of innovations made by the authors.

Ключевые слова: сейсмология; деформационный мониторинг; гравиметрия; гравиметрия; прогноз землетрясений; сейсмостойкое строительство; сейсмомикрорайонирование

Keywords: seismology; deformation monitoring; gravimetry; earthquake prediction; earthquake engineering; seismic microzoning.

В ходе многолетних исследований, начатых после Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г., в Дагестанском научном центре РАН выполнен ряд приоритетных разработок, защищенных 27 авторскими свидетельствами и патентами РФ, на базе которых предложены новые подходы к прогнозу землетрясений. Они включают новые алгоритмы и компьютерные программы обработки и интерпретации геофизических наблюдений, а также новые аппаратные комплексы, создающие научный задел для дальнейших исследований. Краткое описание этих разработок приведено ниже.

1. Разработана обобщенная модель подготовки очага тектонического землетрясения, содержащая основные признаки трех известных моделей сейсмогенеза – Stick-slip, ЛНТ и Консолидационной модели [1, 2]. На ее основе предложена стратегия прогноза сильных землетрясений по распределению амплитуд скачков сдвиговых деформаций на дневной поверхности, обусловленных сейсмическими событиями средней силы [3, 4]. Показано, что по ним, а также по площадным наблюдениям микросейсмической эмиссии можно оценить магнитуды будущих толчков и определить координаты их очагов уже на докритической стадии подготовки, соответствующей этапу долго- и среднесрочного прогноза, что существенно упрощает также задачу прогноза времени землетрясения. Согласно предложенному и запатентованному нами способу прогнозирования землетрясений [5] микросейсмическую эмиссию предполагается регистрировать только из выделенного на глубине 3–10 км (в зависимости от геологических условий) слоя компетентных пород (компетентного слоя), перекрывающего в плане зону подготовки землетрясения.

2. Разработаны алгоритм и компьютерная программа OchagZeml (в DELPHI) для определения по распределению в плане наблюдаемых амплитуд аномалий геофизических полей магнитуд и координат очаговых зон ожидаемых землетрясений. В основу программы заложен алгоритм локализации очагов землетрясения по данным площадных наблюдений геофизических полей, амплитуды которых убывают с расстоянием от источника (потенциального очага) по закону обратных кубов, например, касательных напряжений и микросейсмической эмиссии [5].

3. На территории Дагестана, помимо приграничной с Чеченской Республикой зоны, по нашим наблюдениям можно выделить еще два потенциально сейсмоактивных района – эпицентральная область Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. с

магнитудой 6.7, для которого период повторяемости составляет примерно 40 лет (Кумторкалинская зона), и область сейсмического затишья в Центральном Дагестане, ограниченная координатами $42^{\circ}.00-42^{\circ}.70$ с.ш. и $46^{\circ}.70-48^{\circ}.00$ в.д., в которой после относительно высокой сейсмоактивности в 2000 г. (за вторую половину 2000 г. здесь произошло 4 землетрясения средней силы с магнитудами 3.1, 4.6, 4.6, 4.7, три из которых – в ее центральной области вблизи населенных пунктов Мекеги и Муги) не наблюдалось ощутимых землетрясений (сейсмическая брешь второго рода с кольцевой сейсмичностью [6]). Более детальное рассмотрение этой зоны показало следующее: 1) до активизации в 2000 г., в предыдущие 10 лет (с 1991 г.), здесь также имело место полное сейсмическое затишье; 2) по палеосейсмическим данным, в историческом прошлом на этой территории произошел ряд значимых сейсмических событий; 3) в течение 2002–2008 гг. наблюдалась тенденция к расширению зоны затишья, что находится в согласии с Консолидационной моделью подготовки землетрясений И.П. Добровольского [2]. Активизация в 2000 г. центральной области этой зоны может быть интерпретирована как завершающий этап консолидации.

4. На этой площади разбита наблюдательная сеть из 40 пунктов, равномерно покрывающих зону сейсмического затишья [7]. Для определения уровня микросейсмической эмиссии на пунктах использовался вертикальный сейсмограф с пороговой чувствительностью к событиям 5 энергетического класса при глубине очагов микроземлетрясений до 10 км.

Для наблюдений на этой площади разработано и изготовлено 6 комплектов передвижных цифровых сейсмостанций на базе сейсмодатчиков СМ-3. Это существенно облегчит сбор наблюдательного материала, необходимого для составления карты площадного распределения уровня микросейсмической эмиссии, апробации программы OchaqZeml на реальных данных, ее доводки и выявления кольцевых структур в изолиниях микросейсмической эмиссии для возможного определения по ним координат и магнитуды очаговой зоны ожидаемого землетрясения в Дагестане.

В конечном итоге целью этих исследований является экспериментальная проверка предлагаемого подхода к долго- и среднесрочному прогнозу землетрясений.

5. Разработана схема лабораторного эксперимента с использованием испытательной машины для независимой проверки обобщенной модели подготовки очага и предлагаемого алгоритма прогнозирования места и силы землетрясения по деформационным и сейсмоакустическим наблюдениям на искусственном образце, моделирующем реальную сейсмогенерирующую структуру. Эксперимент будет заключаться в деформировании бетонного куба с внесенным в него двухмерным мягким включением (моделирующим разлом) с введенными в него разномасштабными жесткими включениями в виде перемычек, самая крупная из которых моделирует потенциальную очаговую зону (ОЗ) главного толчка. По всей площади одной из граней куба, перпендикулярных «разлому», располагаются тензодатчики и приемники акустических сигналов. Обработке по программе OchaqZeml будут подвергнуты скачки деформаций в окрестности «ОЗ главного толчка» после разрушения перемычек меньшего масштаба, а также уровень акустической эмиссии, регистрируемый приемниками в периоды относительного затишья.

Для независимой апробации алгоритма разработана также схема лабораторного эксперимента с большими (до 1 м) образцами без использования испытательной машины, которая воспроизведет модель Stick-slip в условиях чистого сдвига. Для инициирования сдвиговых деформаций в эксперименте предполагается использовать вес самих образцов и обычные домкраты.

6. Разработан и запатентован способ определения изменений напряженно-деформированного состояния земной коры по изменениям относительных амплитуд отклика (ОАО) и времен запаздывания отклика (ВЗО) уровней воды в скважинах на баровариации с использованием когерентных гармоник во временных рядах наблюдений этих величин, например полусуточной гармонике S_2 [8]. Теоретические оценки указывают на зависимость передаточной функции атмосферное давление – уровень воды в скважине от условий заложения скважины (ее глубины, удаленности от разрывных нарушений, степени трещиноватости пород между

коллектором и скважиной и т.д.). Эти выводы подтверждены также на данных почасовых измерений атмосферного давления и уровней воды в скважинах «Каспийск-115», «Айды» и «Серебряковка» в Дагестане, заложенных в различных геодинамических условиях [9]. (За 2000–2009 гг. накоплено около 250 000 реализаций.) Для их анализа разработана и апробирована компьютерная программа Period Searcher. С ее помощью во временных рядах атмосферного давления уверенно выделяются устойчивые гармоники S_1 и S_2 , причем амплитуда S_2 существенно больше S_1 , что позволяет нам использовать ее как зондирующий сигнал в исследованиях напряженно-деформированного состояния земной коры. Цель этих исследований – развитие нового подхода к оценке изменений напряженно-деформированного состояния земной коры по откликам пьезометрических уровней воды в скважинах на вариации атмосферного давления.

Комплексный анализ результатов микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений даст дополнительную информацию о напряженно-деформированном состоянии земной коры на территории Дагестана и сопредельных регионов.

7. Мы уже отмечали выше преимущества прямых деформационных наблюдений перед наблюдениями вторичных предвестников, в том числе и проводимыми нами микросейсмическими и гидрогеодинамическими наблюдениями. Однако проблема организации прямых площадных деформационных наблюдений, без которых последние теряют во многом свою прогностическую ценность, упирается в проблему создания деформационных станций, пригодных для этих целей по метрологическим и технико-экономическим характеристикам [3]. Исходя из этого мы в течение ряда лет проводили теоретические исследования по совершенствованию аппаратурно-методической базы геофизических наблюдений, которые завершились разработкой эскизного проекта деформационной станции траншейного типа (ДСТТ) [10]. Станция базируется на следующих аппаратурных разработках: 1) емкостный преобразователь перемещений [11, 12] (пат. РФ № 2281457, 2006); 2) газожидкостный гравиметр [13, 14] (пат. РФ № 2282218, 2006); 3) вертикальный гравитационный градиентометр [15, 16] (пат. РФ № 2292065, 2007); 4) гравитационный вариометр [17] (пат. РФ № 2290674, 2006); 5) двухкоординатный струнный наклономер (пат. РФ № 2287777, 2006); 6) многокомпонентный скважинный деформограф [18] (пат. РФ № 2282143, 2006); 7) проволочный экстензометр [19, 20] (пат. РФ № 2282138, 2006); 8) гидростатический нивелир [21, 22] (пат. РФ № 2282144, 2006); 9) глубинный геодезический репер [10] (пат. РФ № 2282145, 2006). Основные ожидаемые достоинства этих разработок заключаются в долговременной стабильности характеристик и наличии эффективной компенсации влияния экзогенных факторов (температуры, атмосферного давления, влажности, а также их градиентов), что позволяет размещать их в неглубоких траншеях.

ДСТТ представляет собой проложенные в направлениях С-Ю и В-З две субгоризонтальные пересекающиеся под прямым углом траншеи с перекрытием длиной порядка 50–200 м и сечением около $2.5 \times 1 \text{ м}^2$, в которых установлены проволочные экстензометры и гидростатические нивелиры. На пересечении и концах траншей пробурены три субвертикальные скважины глубиной 100–200 м (до скальных пород), в которых устанавливаются многокомпонентные скважинные деформографы, наклонометры-сейсмографы и глубинные геодезические реперы, верхние концы которых выходят в траншею (к экстензометрам и гидронивелирам) или на дневную поверхность (для геодезических измерений) и в реальном масштабе повторяют движения пород в местах закрепления в скважинах их нижних концов [10]. На одном из пересечений траншей располагается лабораторное помещение станции, где устанавливаются гравиметр, гравиградиентометр, вариометр и аппаратура для предварительной обработки и передачи информации в центральный пункт системы прогнозных наблюдений.

По предварительным расчетам ДСТТ в 20–50 раз дешевле, чем известная подземная деформационная станция штольневой типа, что делает реальным создание в сейсмоопасных районах сети ДСТТ с интервалами порядка 30–50 км. Создание такой сети существенно расширит круг контролируемых параметров земной коры, в число которых войдут: 1) локальные объемные деформации вмещающей среды; 2) локальные линейные деформации в трех ортогональных

координатах; 3) величина и направление максимальных сдвиговых деформаций; 4) азимут простираения и угол падения плоскости максимальных сдвиговых деформаций; 5) деформация кручения относительно вертикальной оси; 6) сейсмодеформации по трем координатам в широком частотном и динамическом диапазоне; 7) локальные наклоны по двум ортогональным азимутам; 8) сейсмоакселерограммы по трем ортогональным координатам в динамическом диапазоне 100 децибел; 9) среднемасштабные (~100 м) линейные деформации по трем ортогональным координатам; 10) градиенты среднемасштабных линейных деформаций (по разнесенным в плане ДСТТ); 11) среднемасштабные наклоны земной коры в двух ортогональных азимутах (гидронивелиры); 12) крупномасштабные горизонтальные движения земной коры (по геодезическим измерениям с использованием глубинных реперов); 13) вертикальные движения земной коры (по гравиметрическим наблюдениям); 14) неприливные изменения силы тяжести и ее производных, обусловленные тектоническими причинами; 15) амплитуды и фазы приливных гармоник во временных изменениях деформаций, наклонов, силы тяжести и ее градиентов. Становится возможным регулярное среднемасштабное картирование всех перечисленных параметров, что означает качественно новый уровень деформационного мониторинга земной коры.

Кроме того, каждая разработка в отдельности может быть применена и в других областях деятельности: в геодинамических наблюдениях, геологоразведке, для измерения малых сил в прецизионных гравитационных экспериментах [15, 16, 23], для деформационного мониторинга крупных наземных инженерных сооружений (ГЭС, АЭС, ускорительных и антенных комплексов, зданий и т.п.) [10, 18–22], в прецизионных станках и системах позиционирования (например, в сканирующем атомно-силовом микроскопе) [11, 12], что придает их реализации дополнительную актуальность.

Разумеется, реализация ДСТТ возможна только при наличии целевого финансирования, но в завершённом виде, вместе с технологией ее установки, проведения наблюдений, обработки и интерпретации результатов она могла бы стать предметом экспорта в такие экономически развитые страны с сейсмически активной территорией, как США, Япония, Китай, Индия, Турция, Греция, Италия, что обеспечило бы многократную окупаемость всех финансовых затрат.

8. Для повышения информативности проводимых геофизических исследований, в перспективе, при наличии дополнительного финансирования, совместно с Геофизическим полигоном Кубанского государственного университета может быть разработана и внедрена технология режимных просвечиваний сейсмоактивных зон Восточного Кавказа с использованием тяжелых вибросейсмоисточников Кубанского ГУ. Эти исследования направлены на решение следующих задач: 1) выбор и апробация оптимальных трасс просвечивания и методики обработки данных; 2) поиск скоростных контрастов между выделенными ранее объемами с повышенным и пониженным уровнем сейсмической эмиссии, сопоставление результатов вибропросвечиваний с результатами ГГД наблюдений; 3) сопоставление всех наблюдений с сейсмическим режимом контролируемой территории и временами пробега сейсмических волн от естественных источников (по региональному каталогу), поиск комплексных предвестников землетрясений; 4) вибропросвечивание сейсмически активной структуры на границе сочленения складчатого сооружения Восточного Кавказа и Терско-Каспийского передового прогиба и разрывных нарушений антикавказского простираения для уточнения их геометрических параметров (координат, глубин заложения, азимутов простираения и углов падения); 5) вибропросвечивание массива горных пород в зоне влияния водохранилища Чиркейской ГЭС в Дагестане для выявления изменений скоростных характеристик среды, связанных с сезонными изменениями уровня воды в водохранилище; 6) комплексная обработка и интерпретация микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений с результатами вибропросвечиваний земной коры Восточного Кавказа для уточнения параметров сейсмогенерирующих структур и возможного выявления новых предвестников землетрясений.

9. Хотя триггерная роль искусственных водохранилищ в сейсмическом процессе общеизвестна, но с точки зрения сейсмической опасности их роль явно

преувеличена. Как показано в обзоре Х. Гупта и В. Растоги [24], в общем потоке сильных сейсмических событий доля «плотинных» землетрясений крайне незначительна, а влияние самих водохранилищ сводится, по-видимому, лишь к незначительной коррекции времени срабатывания очага тектонического землетрясения (как правило, в сторону ускорения) и, как следствие, магнитуды главного толчка, преимущественно в сторону уменьшения. Тем не менее сосредоточение сейсмопрогностических наблюдений вблизи искусственных водохранилищ с переменной нагрузкой на ложе с научной точки зрения оправдано, во-первых, самоподобием геологических процессов, позволяющим «переложить» закономерности, установленные для сравнительно слабых «плотинных» землетрясений, на тектонические землетрясения; во-вторых, существенно большей частотой повторяемости последних, позволяющей быстро накапливать материал для статистической обработки. В итоге наших многолетних (с 1976 по 1989 г.) геофизических исследований в районе Чиркейского водохранилища с существенными сезонными колебаниями уровня (их амплитуда составляет 40 м, что соответствует изменению веса воды в водохранилище в 1.5 млрд тонн), к этим аргументам добавился еще один: выяснилось, что прилегающий к водохранилищу массив сравнительно более чувствителен к тектоническим процессам, в том числе и предсейсмическим [25]. Мы объясняем это тем, что ввиду больших значений градиентов водонасыщенности пород предвестниковые деформации прибрежного массива приводят к большим изменениям интенсивности фильтрационных процессов, что проявляется в вариациях фильтрационного потенциала (естественное поле), кажущегося электросопротивления, а также компонентов магнитного и гравитационного полей. Большая протяженность периметра водохранилища повышает вероятность воздействия на него региональных тектонических деформаций, т.е. оно выступает в роли своеобразной «антенны», улавливающей предвестниковые деформации земной коры на значительном удалении от водохранилища: по нашим оценкам вблизи Чиркейского водохранилища мы в состоянии зарегистрировать аномальные деформации, соответствующие подготовке землетрясения с магнитудой 5.5–6.0 в радиусе до 200 км. Важно, что при этом открывается возможность по амплитудам аномалий геофизических полей прогнозировать также степень возможного воздействия на водохранилище ожидаемого землетрясения, что поможет в разработке защитных мероприятий.

10. Неотъемлемой частью мер по обеспечению сейсмической безопасности является сейсмическое районирование и микрорайонирование. Согласно карте общего сейсмического райо-нирования (ОСР-97) прибрежная и предгорная части республики, в которых сосредоточена большая часть инфраструктуры Дагестана, переведены в девятибалльную зону сотрясений. В соответствие с нормами и правилами, разработанными в свое время ЕСССН и Госстроем РФ, сейсмическое микрорайонирование городов и других объектов должно обновляться через каждые 10 лет. Связано это как с изменением геолого-сейсмологической ситуации, так и с освоением новых площадей, занимаемых под строительство зданий и промышленных сооружений. В этой связи предлагается возобновить работы и по созданию сети сейсмометрических станций для изучения поведения зданий и сооружений в городах и крупных населенных пунктах республики во время землетрясений. Результаты этих исследований будут применены строителями-проектировщиками для выбора и оптимизации сейсмостойких конструктивных решений, что также будет способствовать существенному снижению степени сейсмического риска. Проведение работ по инженерно-геологическому районированию на территориях, охваченных микрорайонированием, позволит выполнить корректировку генпланов, существенно уменьшающую затраты на строительство и антисейсмические мероприятия [26–32]. Планируются также исследования по оценке сейсмической опасности для ответственных объектов промышленного и гражданского значения, а также источников вторичной сейсмической опасности в Дагестане (каскад ГЭС, ТЭЦ, водохранилища, оползневые массивы, трубопроводные системы и т.д.).

К первоочередным объектам для проведения сейсмического микрорайонирования относятся следующие города и населенные пункты: Махачкала, Каспийск, Дербент, Буйнакс, Избербаш, Кизилюрт, Хасавюрт, Кизляр, Бабаюрт. Для некоторых

городов, таких как Избербаш, Хасавюрт, Кизилюрт, Кизляр, ранее не существовало карт сейсмического микрорайонирования, а были составлены временные схемы инженерно-геологического районирования, которые в настоящее время не отвечают нормам для проектирования и строительства. Известно, что многие объекты в республике возводятся без должного соблюдения строительных норм и правил. К примеру, последняя карта сейсмического микрорайонирования г. Махачкалы была составлена более 20 лет назад [26]. За это время город значительно увеличился по занимаемой площади, т.е. вышел за пределы карты сейсмического микрорайонирования, следствием чего является значительное увеличение степени сейсмического риска при возможном сильном землетрясении.

Ниже в таблице приведены сведения об имеющихся картах (схемах) сейсмического микрорайонирования территорий городов и населенных пунктов РД.

**Сведения о существующих картах (схемах) сейсмического микрорайонирования
городов Республики Дагестан**

№ п/п	Название карты сейсмического микрорайонирования, масштаб, численность населения	Год разработки, год корректировки	Организация – исполнитель	Площадь карты СМР / площадь города в пределах современного генплана (км ²)	Примечание
1.	Карта сейсмического микрорайонирования г. Махачкалы; М 1:10 000; около 700 тыс. человек	1988 г.	Трест «Ставрополь-Тизис»	62/100	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР
2	Карта сейсмического микрорайонирования г. Каспийска; М 1:10 000; 150 тыс. человек	1990 г.	Трест «Ставрополь-Тизис»	25 км ² 32 км ²	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81 (ОСР-97), выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР
3	Карта сейсмического микрорайонирования г. Дербента; М 1:10 000; 140 тыс. человек	1985 г.	Трест Ставрополь-Тизис	21 км ² 30 км ²	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города
4	Карта сейсмического микрорайонирования г. Буйнакска; М 1:10 000; 40 тыс. человек	1974 г.	Дагестан-гражданпроект	18 км ² 22 км ²	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города
5	Карта сейсмического микрорайонирования г. Избербаша; М 1:10 000; 50 тыс. человек	Временная схема 1997 г.	Дагестан-гражданпроект	20 км ²	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города
6	Карта сейсмического микрорайонирования г. Кизилюрта; М 1:10 000; 30 тыс. человек	Временная схема		20 км ²	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города
7	Карта сейсмического микрорайонирования г. Хасавюрта; М 1:10 000; 60 тыс. человек	Временная схема		20 км ²	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города
8	Карта сейсмического микрорайонирования г. Кизляра; М 1:10 000; 50 тыс. человек	Временная схема		25 км ²	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) подтопление отдельных участков территории города

В заключение кратко перечислим те задачи, которые вытекают из вышеизложенного и будут выполнены в рамках плановой тематики:

1. Совершенствование компьютерной программы *OchagZeml*, апробация ее на модельных и реальных примерах.

2. Полигонные испытания и наладка разработанных и изготовленных нами переносных цифровых сейсмометров (6 комплектов). Наблюдения в режиме опроса микросейсмической эмиссии на пунктах, заложенных в зоне сейсмического затишья в Дагестане, накопление и систематизация данных площадных наблюдений. Обработка данных с использованием модернизированной программы *OchagZeml*, поиск кольцевых структур в их площадном распределении для возможной локализации очаговой зоны готовящегося землетрясения.

3. Продолжение наблюдений за выявленной ранее динамикой расширения площади зоны сейсмического затишья на территории Дагестана с использованием данных локальной сети Дагестанского филиала Геофизической службы РАН и проводимой нами регистрации микросейсмической эмиссии.

4. Апробация нового метода определения изменений напряженно-деформированного состояния земной коры (пат. № 2316027). Корреляционный анализ полученных временных рядов ОАО и ВЗО с временным рядом сейсмических событий.

5. Комплексный анализ результатов микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений, уточнение по ним напряженно-деформированного состояния земной коры на территории Дагестана.

6. Разработка и изготовление усовершенствованного варианта многокомпонентного скважинного деформографа (МСД) с тангенциальным расположением обкладок емкостного преобразователя, изготовление и сборка стенда для лабораторного исследования МСД, разработка рабочих чертежей опытного образца МСД, подготовка всех разработок к представлению на конкурсы инновационных проектов.

При наличии дополнительного финансирования могут быть также решены следующие задачи:

7. Разработка технического проекта, изготовление и исследование лабораторного образца ДСТТ. Проектирование, изготовление и тестирование опытного образца ДСТТ.

8. Реализация лабораторного эксперимента с использованием испытательной машины для независимого тестирования алгоритма и программы *OchagZeml*; реализация лабораторного эксперимента без использования испытательной машины, в условиях чистого сдвига.

9. Разработка и практическая реализация технологии режимных просвечиваний сейсмоактивных зон Восточного Кавказа с использованием тяжелых вибросейсмоисточников Кубанского государственного университета.

10. Возобновление геофизических наблюдений в окрестности Чиркейского водохранилища для регистрации аномальных деформаций, предвещающих сильные тектонические землетрясения.

11. Обобщение результатов комплексного анализа микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений, а также вибросейсмического просвечивания, и разработка практических рекомендаций по широкому использованию предлагаемого комплекса при исследовании напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

12. Сейсмическое районирование и микрорайонирование городов и крупных населенных пунктов на территории Дагестана и сопредельных регионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз землетрясений. Москва; Душанбе: ДОНИШ, 1984. № 3. 216 с.
2. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: Наука, 1984. 188 с.
3. Таймазов Д.Г. Аппаратурно-методические аспекты детерминистического подхода к прогнозу землетрясений // Вестн. Дагест. науч. центра. 2000. № 6. С. 38–44.

4. Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования сильных землетрясений: пат. РФ № 2282220. Бюл. № 23. 2006.
5. Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования землетрясений: пат. РФ № 2325673. Бюл. № 15. 2008.
6. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1979. 388 с.
7. Наблюдения за микросейсмической эмиссией на территории Дагестана / С.А. Мамаев, Д.Г. Таймазов, Р.А. Магомедов, Ю.М. Магомедов, А.Г. Магомедов, Р.Ю. Никуев // Ресурсы подземных вод Юга России и меры по их рациональному использованию, охране и воспроизводству: тр. Ин-та геологии ДНЦ РАН. Вып. 55. Махачкала, 2009. С. 279–281.
8. Таймазов Д.Г. Способ определения изменений напряженно-деформированного состояния земной коры: пат. РФ № 2316027. Бюл. № 3. 2008
9. Таймазов Д.Г., Лугуев Т.С., Шаралудинов Т.И. Об изменчивости функций связи между когерентными гармониками во временных рядах атмосферного давления и пьезометрических уровней в скважинах // Ресурсы подземных вод Юга России и меры по их рациональному использованию, охране и воспроизводству: тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып. 55. Махачкала, 2009. С. 279–282.
10. Таймазов Д.Г. О возможности создания многокомпонентной деформационной станции траншейного типа для сейсмопрогностических наблюдений // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45, № 4. С. 69–76.
11. Таймазов Д.Г. Широкодиапазонный емкостный преобразователь перемещений для прецизионных приборов и систем позиционирования // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44, № 3. С. 48–54.
12. Taimazov D.G. Wide Range Displacement Capacitance Transducer for Precision Instruments and Positioning Systems // Seismic Instruments. 2009. Vol. 45. P. 75–77.
13. Таймазов Д.Г. О путях улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик газожидкостных гравиметров // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44, № 4. С. 27–35.
14. Taimazov D.G. Ways to Improve Metrological and Operational Characteristics of Liquid Gravimeters // Seismic Instruments. 2009. Vol. 45. P. 110–114.
15. Таймазов Д.Г. Струнный вертикальный гравитационный градиентометр // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44, № 4. С. 36–42.
16. Taimazov D.G. Stringed Vertical Gravimetric Gradient Meter // Seismic Instruments. 2009. Vol. 45. P. 115–118.
17. Таймазов Д.Г. Безмаятниковый гравитационный вариометр // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45, № 3. С. 55–58.
18. Таймазов Д.Г. Многокомпонентный скважинный деформограф // Вестн. ДНЦ РАН. 2006. № 26. С. 9–16.
19. Таймазов Д.Г. Прецизионный проволочный экстензометр для сейсмопрогностических наблюдений // Сейсм. приборы. 2008г. Т. 44, № 3. С. 55–58.
20. Taimazov D.G. Precision Wire Extensometer for Seismoprognotic Observations // Seismic Instruments. 2009. Vol. 45. P. 78–82.
21. Таймазов Д.Г. Трехжидкостный гидростатический нивелир // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45, № 2. С. 42–45.
22. Taimazov D.G. Three Fluid Hydrostatic Level // Seismic Instruments. 2010. Vol. 46, N 1. P. 75–77.
23. Таймазов Д.Г. О возможности экспериментального обнаружения эффекта экранирования гравитации // Вест. Дагест. науч. центра. 2000. № 8. С. 34–39.
24. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир, 1979. 251 с.
25. Таймазов Д.Г. Водохранилище как индикатор сейсмотектонических деформаций // Тез. докл. Междунар. научн. конф. к 275-летию РАН. Махачкала, 1999. С. 350–351.
26. Отчет о СМР территории перспективной застройки г. Махачкалы / Госстрой РСФСР. «СтавропольТизис», г. Пятигорск, 1988 г. 550 с.
27. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов населенных пунктов и больших строительных площадок. М.: Наука, 2009. 350 с.
28. Организация инженерно-сейсмометрической службы в Республике Дагестан / Д.М. Далгатов, В.И. Черкашин, В.М. Дорофеев, П.И. Крамынин, С.А. Мамаев, Р.А. Магомедов, Р.Ю. Никуев // Вестн. Дагест. науч. центра. 2003. № 14. С. 25–33.
29. Дорофеев В.М., Мамаев С.А. О расчете сейсмостойких сооружений на уровне теории надежности // Экспериментальные и теоретические исследования строительных конструкций. М., 1990. С. 64–68.
30. Дорофеев В.М., Мамаев С.А. Модель 7-балльных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений с эффективной длительностью 10 с // Строительная механика и расчет сооружений. 1990. № 4. С. 42–47.

31. Статистическая нестационарная модель сейсмического воздействия с максимальными значениями ускорений в диапазоне 100-200 см/с² / В.М. Дорофеев, Л.Н. Дорофеева, С.А. Мамаев, В.А. Пшеничнова // Сейсмостойкое строительство. Международный журнал по сейсмостойкому строительству и инженерной сейсмологии. 1992. № 1. С. 7-14.

32. Мамаев С.А., Дорофеев В.М. Численное статистическое моделирование сейсмических воздействий // Вестн. Дагест. науч. центра. 2003. № 15. С. 35-44.

Поступила в редакцию 16.08.2012 г.

Принята к печати 18.12.2013 г.