

УДК 528.58+550.34.034

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44536](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44536)

Обзорная статья

О перспективных направлениях развития средств и методов повышения сейсмической безопасности территории Дагестана

Д.Г. Таймазов^{1,2}, к.ф.-м.н., С.А. Мамаев², к.т.н., А.С. Мамаев²

¹Единая геофизическая служба РАН, Россия, 249020, Калужская обл., г. Обнинск, пр-т Ленина, 189;

²Институт геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук, Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail.ru

Статья поступила: 06.11.2019, после рецензирования: 08.12.2019, принята к публикации: 12.12.2019

Аннотация: **Актуальность работы.** После Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года прогностические наблюдения (сейсмические, геофизические и геохимические) на территории Дагестана не прекращались, но по продолжительности и детальности и охвату сейсмоактивных территорий, не отвечают требованиям, предъявляемым к подобным наблюдениям. Объект исследования – сейсмические процессы горного региона. **Цель работы** – определение направлений развития ресурсов и методов повышения сейсмической безопасности территории Дагестана. **Методы исследования.** Перспективы использования, разработанных авторами, новых аппаратурно-методических разработок. **Результаты работы.** Установлено, что разработанная деформационная станция траншейного типа (ДСТТ) в десятки раз дешевле и эффективнее, чем известная подземная деформационная станция штольневой типа. Это делает реальным создание в сейсмоопасных районах сети ДСТТ, что существенно расширит круг контролируемых параметров земной коры. В число этих параметров войдут локальные объемные деформации вмещающей среды, локальные линейные деформации в трех ортогональных координатах, величина и направление максимальных сдвиговых деформаций, азимут простирания и угол падения плоскости максимальных сдвиговых деформаций, деформация кручения относительно вертикальной оси, сейсмодетонации по трем координатам в широком частотном и динамическом диапазоне, локальные наклоны по двум ортогональным азимутам, сейсмоакселерограммы по трем ортогональным координатам в динамическом диапазоне 100 децибел, среднемасштабные (– 100 м) линейные деформации по трем ортогональным координатам, градиенты среднемасштабных линейных деформаций, среднемасштабные наклоны земной коры в двух ортогональных азимутах, крупномасштабные горизонтальные движения земной коры, вертикальные движения земной коры; неприливные изменения силы тяжести и ее производных, обусловленные тектоническими причинами, амплитуды и фазы приливных гармоник во временных изменениях деформаций, наклонов, силы тяжести и ее градиентов. Становится возможным регулярное разномасштабное картирование всех перечисленных параметров, что означает качественно новый уровень деформационного мониторинга земной коры. Показана целесообразность использования инструментального комплекса для организации сейсмопрогностических наблюдений на территории Дагестана.

Ключевые слова: деформация, площадные наблюдения, компьютерная обработка геофизических наблюдений, сейсмическое микрорайонирование, гравиметр, вариометр, наклономер, гидронивелир, деформационная станция, экстензометр.

Для цитирования: Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Мамаев А.С. О перспективных направлениях развития средств и методов повышения сейсмической безопасности территории Дагестана. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9(4): 126-139. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44536.

DOI: [10.23671/VNC.2019.4.44536](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.4.44536)

Review

On the promising areas for the development of tools and methods of improving the seismic safety of the territory of Dagestan

D.G. Taymazov^{1, 2}, S.A. Mamaev², A.S. Mamaev²

¹Unified Geophysical Service, Russian Academy of Sciences, 189 Lenin Ave., Obninsk 249020, Russian Federation;

²Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 75 Yaragskiy Str., Makhachkala 367010, Russian Federation, e-mail: dangeogis@mail.ru

Received: 06.11.2019, revised: 08.12.2019, accepted: 12.12.2019

Abstract: Relevance. After the Dagestan earthquake on May 14, 1970, prognostic observations (seismic, geophysical and geochemical) in the territory of Dagestan continued, but in terms of duration, detail and coverage of seismically active territories, they do not meet the requirements for such observations. The study object is the seismic processes of the mountain region. **Aim.** To determine the directions of resources development and methods for increasing the seismic safety of the territory of Dagestan. **Methods.** Prospects for the use of new hardware and methodological developments of authors. **Results.** It is established that the developed trench-type deformation station (TTDS) is ten times cheaper and more efficient than the well-known underground tunnel type deformation station. This makes it possible to create a network of TTDS in seismically hazardous areas, which will significantly expand the range of controlled parameters of the earth's crust. These parameters will include local volumetric deformations of the host medium, local linear deformations in three orthogonal coordinates, the magnitude and direction of maximum shear deformations, the strike azimuth and the angle of incidence of the plane of maximum shear deformations, torsional deformation relative to the vertical axis, seismic deformation along three coordinates in a wide frequency and dynamic range, local slopes along two orthogonal azimuths, seismic accelerograms along three orthogonal coordinates in dynamic range 100 decibels, medium-scale (~ 100 m) linear deformations along three orthogonal coordinates, gradients of medium-scale linear deformations, medium-scale crustal tilts in two orthogonal azimuths, large-scale horizontal earth's crust movement, vertical movement of the earth's crust; nontidal changes in gravity and its derivatives caused by the tectonic reasons, the amplitudes and phases of tidal harmonics in temporal variations of deformations, inclinations, gravity and its gradients. The regular multi-scale mapping of all these parameters becomes possible, which means a qualitatively new level of deformation monitoring of the earth's crust. The expediency of the instrumental complex using for the organization of seismic-prediction observations in the territory of Dagestan is shown.

Keywords: deformation, areal observations, computer processing of geophysical observations, seismic microzonation, gravimeter, variometer, tiltmeter, hydraulic level, deformation station, extensometer.

For citation: Taymazov D.G., Mamaev S.A., Mamaev A.S. On the promising areas for the development of tools and methods of improving the seismic safety of the territory of Dagestan. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. 9(4): 126-139. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44536x.

Наиболее сейсмоактивными регионами России являются Камчатка и Курильские острова, где Тихоокеанская литосферная плита сталкивается с Евразийской, Северный Кавказ, находящийся неподалеку от места соединения сразу нескольких плит, а также район в окрестностях озера Байкал. Как отметил на недавней пресс-конференции «Прогноз землетрясений в России» заведующий отделением сейсмологии Института физики земли РАН Г.А. Соболев, России не хватает станций наблюдения за движениями земной коры в наиболее сейсмоопасных регионах. В долгосрочном плане Г.А. Соболев и его коллеги прогнозируют на территории нашей страны как минимум два крупных землетрясения: на границе Чечни и Дагестана и по соседству с Петропавловском-Камчатским. При этом, если на Камчатке сейсмологи отслеживают все подземные колебания, то на Северном Кавказе, по его словам, наблюдений практически не ведется.

Однако следует уточнить, что после Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года прогностические наблюдения (сейсмические, геофизические и геохимические) на территории Дагестана не прекращались, но ввиду хронического недофинансирования они как по продолжительности и детальности, так и по охвату сейсмоактивных территорий, никогда не отвечали в полной мере требованиям, предъявляемым к подобным наблюдениям. Тем не менее, в ходе этих работ в Институте геологии ДНЦ РАН был выполнен ряд теоретических разработок в области аппаратуры и методики прогностических наблюдений, защищенных 27 авторскими свидетельствами и патентами РФ и на базе которых предложены новые подходы к прогнозу землетрясений. При этом мы исходили из общепризнанного положения о том, что наиболее информативными для прогностических целей являются прямые площадные деформационные наблюдения. Их реализации препятствуют несовершенство существующей аппаратной базы и методов площадных деформационных наблюдений, обработки и интерпретации результатов, чем и определяется актуальность проводимых исследований. В ходе этих исследований нами получены результаты, включающие новые алгоритмы и компьютерные программы обработки и интерпретации геофизических наблюдений, а также новые аппаратные комплексы, и создающие тем самым определенный научный задел для дальнейших исследований. Они заключаются в следующем.

1. Разработана обобщенная модель подготовки очага тектонического землетрясения, содержащая основные признаки трех известных моделей сейсмогенеза – Stick-slip, ЛНТ и Консолидационной модели [Прогноз землетрясений, 1984; Добровольский, 1984]. На ее основе разработана стратегия прогноза сильных землетрясений по распределению амплитуд скачков сдвиговых деформаций на дневной поверхности, обусловленных сейсмическими событиями средней силы [Таймазов, 2000а, 2006а; Таймазов, Мамаев, 2011]. 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 [Таймазов, 2008а] 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.exe (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 [Таймазов, 2006а, 2008а].

3. На территории Дагестана, помимо упомянутой выше приграничной с Чеченской Республикой зоны, по нашим наблюдениям можно выделить еще два потенциально сейсмоактивных района – эпицентральная область Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года с магнитудой 6,7, для которого период повторяемости составляет примерно 40 лет (Кумторкалинская зона), и область сейсмического затишья в Центральном Дагестане, ограниченная координатами 42° 00'–42° 70' с.ш. и 46° 70'–48° 00' в.д., в которой после относительно высокой сейсмоактивности в 2000 г. (за вторую половину 2000 года 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 [Рикитаке, 1979]). Более детальное рассмотрение этой зоны показало следующее: 1) до активизации в 2000 г., в предыдущие 10 лет (с 1991 года), здесь также имело место полное сейсмическое затишье; 2) по палеосейсмическим данным, в историческом прошлом на этой территории произошло 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. Активизация в 2000 г. центральной области этой зоны может быть интерпретирована как завершающий этап консолидации.

4. На этой площади создана наблюдательная сеть из 40 пунктов, равномерно покрывающих зону сейсмического затишья [Мамаев и др., 2009]. Координаты пунктов определялись с использованием системы GPS. Для определения уровня микросейсмической эмиссии на пунктах использовался вертикальный сейсмограф с пороговой чувствительностью к событиям 4 энергетического класса при глубине очагов микроземлетрясений до 10 км. Для спектрального анализа записей микросейсмической эмиссии разработана и апробирована специальная программа SPECTR на алгоритмическом языке DELPHI.

Для расширения исследований на этой площади разработано и изготовлено 6 комплектов передвижных цифровых сейсмостанций на базе сейсмодатчиков CM-3. Это существенно облегчит сбор наблюдательного материала, необходимого для составления карты площадного распределения уровня микросейсмической эмиссии, апробации программы «OchagZeml» 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 прогнозированию 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 ОЗ главного толчка. По всей площади одной из граней куба, перпендикулярных «разлому», располагаются тензодатчики и приемники акустических сигналов. Обработке по программе OchagZeml.exe будут подвергнуты скачки деформаций 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.

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 гармоники S_2 [Таймазов, 2008б]. 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 данными почасовых измерений атмосферного давления и уровней воды в скважинах «Каспийск-115», «Айды» и «Серебряковка» в Дагестане, заложенных в различных геодинамических условиях [Таймазов и др., 2009] (за 2000–2008 гг. уже накоплено более 160 000 реализаций). Для калибровки ОАО и ВЗО в единицах деформаций используются приливные волны в деформациях, амплитуды и фазы которых определяются независимо. Для этого 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. 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) [Таймазов, 2010а], которая базируется на следующих предложенных нами аппаратурных разработках: 1) Емкостный преобразователь перемещений [Магомедов, Мамаев, 2015; Мамаев и др., 2019] (пат. РФ №2281457, 2006); 2) Газожидкостный гравиметр [Мамаев и др., 2007, 2009] (пат. РФ №2282218, 2006); 3) Вертикальный гравитационный градиентометр [Отчет..., 1988; Прогноз землетрясений, 1984] (пат. РФ №2292065, 2007); 4) Гравитационный вариометр [Рикитаке, 1979] (пат. РФ №2290674, 2006); 5) Двухкоординатный струнный наклономер (пат. РФ №2287777, 2006); 6) Многокомпонентный скважинный деформограф [Таймазов, 2006б] (пат. РФ №2282143, 2006); 7) Проволочный экстензометр [Таймазов, 2000а, 2008г] (пат. РФ №2282138, 2006); 8) Гидростатический нивелир [Таймазов, 1999, 2006] (пат. РФ №2282144, 2006); 9) Глубинный геодезический репер [Магомедов, Мамаев, 2019] (пат. РФ №2282145, 2006). Основные 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 траншеи с перекрытием длиной порядка 50–200 м и сечением около 2,5'1 м², в которых установлены проволочные экстензометры и гидростатические нивелиры. Для повышения информативности дополнительно может быть проложена и оборудована диагональная траншея. На пересечениях траншей пробурены три субвертикальные скважины глубиной 100–200 м (до скальных пород), в которых устанавливаются многокомпонентные скважинные деформографы, наклонометры-сейсмографы и глубинные геодезические репера, 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. 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 описанная ДСТТ в 20÷50 раз дешевле, чем известная подземная деформационная станция штольневая 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 простирания и угол падения плоскости максимальных сдвиговых деформаций; 5) деформация кручения относительно вертикальной оси; 6) сейсмодетформации 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) ампли-

туды и фазы приливных гармоник во временных изменениях деформаций, наклонов, силы тяжести и ее градиентов. Становится возможным регулярное разномасштабное 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 геодинимических наблюдениях, геологоразведке, для измерения малых сил в прецизионных гравитационных экспериментах [Таймазов, 2009б, в, 2010; Таймазов, 2008д, е, 2000б], для деформационного мониторинга крупных наземных инженерных сооружений (ГЭС, АЭС, ускорительных и антенных комплексов, зданий и т.п.) [Таймазов, 2008в, г, 2009а, б, 2010, 2006б; Taimazov, 2009а, г, 2010], в прецизионных станках и системах позиционирования (например, в сканирующем атомно-силовом микроскопе), что придает их реализации дополнительную актуальность.

Разумеется, реализация ДСТТ возможна только при наличии целевого финансирования, но в завершеном 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, предусмотрена разработка технологии режимных просвечиваний сейсмоактивных зон Восточного Кавказа с использованием тяжелых вибросейсмосточников Кубанского государственного университета. Выбор и апробацию оптимальных трасс просвечивания и методики обработки данных предполагается осуществить совместно с Геофизическим полигоном Кубанского ГУ. В ходе выполнения этих работ планируется решить следующие задачи: 1) поиск скоростных контрастов между выделенными ранее в зоне сейсмического затишья объемами с повышенным и пониженным уровнями сейсмической эмиссии, сопоставление результатов вибропросвечиваний с результатами ГГД наблюдений; 2) сопоставление всех наблюдений с сейсмическим режимом контролируемой территории и временами пробега сейсмических волн от естественных источников (по региональному каталогу), поиск комплексных предвестников землетрясений; 3) вибропросвечивание сейсмически активной структуры на границе сочленения складчатого сооружения Восточного Кавказа и Терско-Каспийского передового прогиба и разрывных нарушений антикавказского простирания для уточнения их геометрических параметров (координат, глубин заложения, азимутов простирания и углов падения); 4) 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; 5) комплексная обработка и интерпретация микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений с результатами вибропросвечиваний земной коры Восточного Кавказа для уточнения параметров сейсмогенерирующих структур и 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 [Гупта, Растоги, 1979; Таймазов, 2000а], 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 1975 по 1989 гг.) 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 приле-

гающий к водохранилищу массив сравнительно более чувствителен к тектоническим процессам, в том числе и предсейсмическим [Гупта, Растоги, 1979]. 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 районирования (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 Госстроя 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 оптимизации и выбора 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, приводящей к существенному уменьшению затрат на строительство и антисейсмические мероприятия [Отчет..., 1988; Заалишвили, 2009; Магомедов, Мамаев, 2015; Мамаев и др., 2019; Мамаев и др., 2009]. 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.).

Для снижения сейсмического риска территории городов и крупных населенных пунктов Дагестана необходимо провести сейсмическое микрорайонирование, которое не проводилось со времен развала Советского Союза. К первоочередным объектам для проведения сейсмического микрорайонирования относятся следующие города и населенные пункты: Махачкала, Каспийск, Дербент, Буйнакск, Избербаш, Кизилюрт, Хасавюрт, Кизляр, Бабаюрт. Для некоторых городов таких как Избербаш, Хасавюрт, Кизилюрт, Кизляр ранее не существовали карты 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 [Таймазов и др., 2013; Черкашин и др., 2006; Мамаев и др., 2007; Таймазов, Мамаев, 2010; Магомедов, Мамаев, 2019; Мамаев и др., 2019; Абдулганиева и др., 2019]. К примеру, последняя карта сейсмического микрорайонирования г. Махачкала была составлена более 30 лет назад [Отчет..., 1988; Черкашин и др., 2003]. 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 1 приведены сведения об имеющихся картах (схемах) сейсмического микрорайонирования территорий городов и населенных пунктов РД.

Таблица 1. / Table 1.

Сведения о существующих картах (схемах) сейсмического микрорайонирования городов Республики Дагестан. / Information about the existing maps (schemes) of seismic microzonation of the cities of the Republic of Dagestan.

№ п/п / No.	Название карты сейсмического микрорайонирования, масштаб, численность населения. / Title of the map of seismic microzonation, scale, population.	Год разработки, год корректировки. / Year of development, year of adjustment	Организация исполнитель. / Executing agency	Площадь карты СМР, площадь города в пределах современного генплана. / SMZ map area, the area of the city within the limits of the modern general plan	Основные методы СМР, примененные при разработке карты. / The main SMZ methods used in the development of the map	Примечание. / Remark
1	Карта сейсмического микрорайонирования г. Махачкала; М:1:10000. Около 700 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Makhachkala; M: 1:10000. About 700 thousand people.	1988 г.	Трест Ставрополь-Тисиз. / Stavropol-Tisiz group	62 км ² 100 км ²	А,Б,В,Г / А,В,С,Д	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map
2	Карта сейсмического микрорайонирования г. Каспийск; М:1:10000 150 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Kaspiysk; M: 1:10000 150 thousand people	1990 г.	Трест Ставрополь-Тисиз. / Stavropol-Tisiz group	25 км ² 32 км ²	А,Б,В,Г / А,В,С,Д	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97), выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map
3	Карта сейсмического микрорайонирования г. Дербента; М:1:10000 140 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Derbent; M: 1:10000 140 thousand people	1985 г.	Трест Ставрополь-Тисиз. / Stavropol-Tisiz group	21 км ² 30 км ²	А,Б,В,Г / А,В,С,Д	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory

4	Карта сейсмического микрорайонирования г. Буйнакск; М:1:10000 40 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Buiinsk; M:1:10000 40 thousand people	1974 u/	Дагестан-гражданпроект. / Dagestan-grazhdanproekt	18 км ² 22 км ²	А,Б,В,Г / А,В,С,Д	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory
5	Карта сейсмического микрорайонирования г. Избербаша; М:1:10000 50 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Izberbash; M:1:10000 50 thousand people	Временная схема 1997. / Time scheme 1997	Дагестан-гражданпроект / Dagestan-grazhdanproekt	20 км ²	А,Б,В,Г / А,В,С,Д	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory
6	Карта сейсмического микрорайонирования г. Кизилюрта; М:1:10000 30 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Kizilyurt; M:1:10000 30 thousand people	Временная схема. / Time scheme		20 км ²	А,Б,В,Г / А,В,С,Д	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory

7	Карта сейсмического микрозонирования г. Хасавюрта; М:1:10000 60 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Khasavyurt; М:1:10000 60 thousand people	Временная схема. / Time scheme		20 км ²	А,Б,В,Г / А,В,С,Д	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) выход районов перспективной застройки за пределы существующей карты СМР, подтопление отдельных участков территории города. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory
8	Карта сейсмического микрозонирования г. Кизляра; М: 1:10000, 50 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Kizlyar; М:1:10000 50 thousand people	Временная схема. / Time scheme		25 км ²	А,Б,В,Г / А,В,С,Д	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) подтопление отдельных участков территории города. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) flooding of the certain sections of the town territory

В заключение кратко перечислим те задачи, которые вытекают из выше изложенного 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 передвижных цифровых сейсмометров (6 комплектов). Наблюдения в режиме опроса микросейсмической эмиссии на 40 пунктах, заложенных в зоне сейсмического затишья в Дагестане, накопление и систематизация данных площадных наблюдений. Обработка данных с использованием модернизированной программы OchagZeml.exe, 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 (патент №2316027): 1) гармонический анализ многолетних гидрогеодинамических наблюдений в 3-х скважинах на территории Дагестана по модернизированной программе «Period Searcher»; 2) составление временных рядов ОАО и ВЗО по двум устойчивым гармоникам S_1 и S_2 в атмосферном давлении и поиск в них приливных гармоник путем повторной обработки по программе «Period Searcher»; 3) корреляционный анализ 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 3-го варианта МСД с тангенциальным расположением обкладок емкостного преобразователя, изготовление и сборка стенда для лабораторного исследования МСД, разработка рабочих чертежей опытного образца МСД, разработка рабочих чертежей лабораторного

образца проволочного экстензогра (ПЭ), подготовка проектов МСД, ПЭ и других разработок к представлению на конкурсы инновационных проектов.

При наличии дополнительного финансирования могут быть 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 OzhagZeml.exe; 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. Абдулганиева Т.И., Самедов Ш.Г., Мамаев С.А., Курбанисмаилова А.С. Экологические аспекты охраны природных вод Дагестана. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019. – №2(77). – С. 55–59.

2. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. – М.: Мир, 1979. – 251 с.

3. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1984. – 188 с.

4. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов населенных пунктов и больших строительных площадок. – М.: Наука, 2009. – 350 с.

5. Магомедов Р.А., Мамаев С.А. Некоторые результаты исследований геотектонических условий и современной сейсмичности Восточного Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – №1(9). – С. 29–42.

6. Магомедов Р.А., Мамаев С.А. Сеймотектонические и геодинамические особенности дагестанского сектора Восточного Кавказа. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2015. – №4(39). – С. 127–135.

7. Мамаев С.А., Сулейманов В.К., Мамаев А.С. Современное применение ГИС-технологий при мониторинге экзогенных процессов в Республике Дагестан. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019. – №1(76). – С. 61–66.

8. Мамаев С.А., Таймазов Д.Г., Магомедов Р.А., Магомедов Ю.М., Магомедов А.Г., Никуев Р.Ю. Наблюдения за микросейсмической эмиссией на территории Дагестана. // Ресурсы подземных вод Юга России и меры по их рациональному использованию, охране и воспроизводству». Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып. 55. – Махачкала. – 2009. – С. 279–281.

9. Мамаев С.А., Черкашин В.И., Магомедов Р.А. Организация инженерно-сейсмологических и сейсмометрических прогнозных исследований в Дагестане. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2007. – №51. – С. 27–34.

10. Отчет о СМР территории перспективной застройки г. Махачкала. // Госстрой РСФСР. «СтаропольТизис». – Пятигорск. – 1988. – 550 с.

11. Прогноз землетрясений. – Душанбе – Москва: ДОНИШ, 1984. – №3. – 216 с.

12. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1979. – 388 с.

13. Таймазов Д.Г. Водохранилище как индикатор сеймотектонических деформаций. // Тез. докл. междунауч. конф. к 275-летию РАН. – Махачкала: Изд-во ДНЦ РАН, 1999. – С. 350–351.

14. Таймазов Д.Г. Аппаратурно-методические аспекты детерминистического подхода к прогнозу землетрясений. // Вестн. ДНЦ РАН. – 2000а. – №6. – С. 38–44.

15. Таймазов Д.Г. О возможности экспериментального обнаружения эффекта экранирования гравитации. // Вест. ДНЦ РАН. – 2000б. – №8. – С. 34–39.
16. Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования сильных землетрясений: Патент РФ № 2282220. БИ № 23. – 2006а.
17. Таймазов Д.Г. Многокомпонентный скважинный деформограф. // Вестн. ДНЦ РАН. – 2006б. – №26. – С. 9–16.
18. Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования землетрясений: Патент РФ № 2325673. БИ № 15. – 2008а.
19. Таймазов Д.Г. Способ определения изменений напряженно-деформированного состояния земной коры: Патент РФ № 2316027. БИ №3. – 2008б.
20. Таймазов Д.Г. Широкодиапазонный емкостный преобразователь перемещений для прецизионных приборов и систем позиционирования. // Сейсм. приборы. – 2008в. – Т. 44. №3. – С. 55–58.
21. Таймазов Д.Г. Прецизионный проволочный экстензометр для сейсмопрогностических наблюдений. // Сейсмические приборы. – 2008г. – Т. 44. №3. – С. 48–54.
22. Таймазов Д.Г. О путях улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик газожидкостных гравиметров. // Сейсм. приборы. – 2008д. – Т. 44. №4. – С. 27–35.
23. Таймазов Д.Г. Струнный вертикальный гравитационный градиентометр. // Сейсм. приборы. – 2008е. – Т. 44. №4. – С. 36–42.
24. Таймазов Д.Г. Безмаятниковый гравитационный вариометр // Сейсмические приборы. – 2009ф. – Т. 45. №3. – С. 56–59.
25. Таймазов Д.Г. Трехжидкостный гидростатический нивелир. // Сейсмические приборы. – 2009., – Т. 45. №2. – С. 42–45.
26. Таймазов Д.Г. О возможности создания многокомпонентной деформационной станции траншейного типа для сейсмопрогностических наблюдений. // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46. №1. – С. 42–49.
27. Таймазов Д.Г., Лугуев Т.С., Шарапудинов 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. – 2009. – Вып. 55. – С. 279–282.
28. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А. О перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана. // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. редактор. – Владикавказ. – 2011. – С. 224–235.
29. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А. О развитии новых подходов к проблеме сейсмической безопасности территории Дагестана с использованием геофизических наблюдений. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2010. – №56. – С. 236–244.
30. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Абакаров А.Д., Таймазов М.Д. О состоянии и перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2013. – №51. – С. 36–42.
31. Черкашин В.И., Дорофеев В.М., Крамынин П.И., Магомедов Р.А., Мамаев С.А., Никуев Р.Ю. Организация инженерно-сейсмометрической службы в Республике Дагестан. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2003. – №14. – С. 25–37.
32. Черкашин В.И., Мамаев С.А., Магомедов Р.А. Сейсмомониторинг и оценка сейсмического риска территории Дагестана. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2006. – №50. – С. 287–291.
33. Taimazov D.G. Wide Range Displacement Capacitance Transducer for Precision Instruments and Positioning Systems. // Seismic Instruments. – 2009а. – Vol. 45. – Pp. 75–77.
34. Taimazov D.G. Ways to Improve Metrological and Operational Characteristics of Liquid Gravimeters. // Seismic Instruments. – 2009б. – Vol. 45. – Pp. 110–114.
35. Taimazov D.G. Stringed Vertical Gravimetric Gradient Meter. // Seismic Instruments. – 2009в. – Vol. 45. – Pp. 115–118.

36. Taimazov D.G. Precision Wire Extensometer for Seismoprostic Observations. // *Seismic Instruments*. – 2009r. – Vol. 45. – Pp. 78–82.
37. Taimazov D.G. Three_Fluid Hydrostatic Level. // *Seismic Instruments*. – 2010. – Vol. 46. No. 1. – Pp. 75–77.

References

1. Abdulganieva T.I., Samedov Sh.G., Mamaev S.A., Kurbanismailova A.S. Ecological aspects of the natural waters protection in Dagestan. *Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN*. 2019. No. 2 (77). pp. 55–59. (In Russ.)
2. Gupta Kh., Rastogi B. Dams and earthquakes. Moscow. Mir, 1979. 251 p. (In Russ.)
3. Dobrovolskii I.P. The mechanics of a tectonic earthquake preparation. Moscow. Nauka, 1984. 188 p. (In Russ.)
4. Zaalishvili V.B. Seismic microzonation of territories of cities, settlements and large construction sites. M. Nauka, 2009. 350 p. (In Russ.)
5. Magomedov R.A., Mamaev S.A. Some research results of geotectonic conditions and modern seismicity of the Eastern Caucasus. *Geology and geophysics of Russian South*. 2019. No.1 (9). pp. 29–42. (In Russ.)
6. Magomedov R.A., Mamaev S.A. Seismotectonic and geodynamic features of the Dagestan sector of the Eastern Caucasus. *Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science*. 2015. No. 4 (39). pp. 127–135. (In Russ.)
7. Mamaev S.A., Suleimanov V.K., Mamaev A.S. Modern application of Gis-technologies for monitoring exogenous processes in the Republic of Dagestan. *Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN*. 2019. No. 1 (76). pp. 61–66. (In Russ.)
8. Mamaev S.A., Taimazov D.G., Magomedov R.A., Magomedov Yu.M., Magomedov A.G., Nikuev R.Yu. Observations of microseismic emissions in Dagestan. Groundwater resources of the Russian South and measures for their rational use, protection and reproduction”. *Proceedings IG DSC RAS*. Vol. 55. Makhachkala. 2009. pp. 279–281. (In Russ.)
9. Mamaev S.A., Cherkashin V.I., Magomedov R.A. Organization of engineering-seismological and seismometric prognostic researches in Dagestan. *Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN*. 2007. No. 51. pp. 27–34. (In Russ.)
10. Report on seismic microzonation of the territory for perspective development of the city of Makhachkala. Gosstroy of the RSFSR. StaropolTisis. Pyatigorsk. 1988. 550 p. (In Russ.)
11. The prognosis of earthquakes. Dushanbe – Moscow. DONISH, 1984. No. 3. 216 p. (In Russ.)
12. Rikitake T. Earthquake prognosis. M. Mir, 1979. 388 p. (In Russ.)
13. Taimazov D.G. Water reservoir as an indicator of seismotectonic deformations. Conference abstracts of International Scientific Conference Devoted to the 275th Anniversary of the RAS. Makhachkala. Publishing House of the DSC RAS, 1999. pp. 350–351. (In Russ.)
14. Taimazov D.G. Instrumental and methodological aspects of the deterministic approach for earthquake prognosis. *Bulletin of DSC RAS*. 2000a. No. 6. pp. 38–44. (In Russ.)
15. Taimazov D.G. On the possibility of experimental detection of the shielding gravity effect. *Bulletin of DSC RAS*. 2000b. No. 8. pp. 34–39. (In Russ.)
16. Taimazov D.G. A method for strong earthquakes prognosis. RF patent No. 2282220. BI No. 23. 2006a. (In Russ.)
17. Taimazov D.G. Multicomponent downhole strain gauge. *Bulletin of DSC RAS*. 2006b. No. 26. pp. 9–16. (In Russ.)
18. Taimazov D.G. Earthquake prognosis method: RF Patent No. 2325673. BI No. 15. – 2008a. (In Russ.)
19. Taimazov D.G. A method for determining changes in the stress-strain state of the earth's crust: RF Patent No. 2316027. BI No. 3. 2008b. (In Russ.)
20. Taimazov D.G. Wide-range capacitive displacement transducer for precision instruments and positioning systems. *Seismic instruments*. 2008c. Vol. 44. No. 3. pp. 55–58. (In Russ.)
21. Taimazov D.G. Precision wire extensometer for seismic prognostic observations. *Seismic instruments*. 2008d. Vol. 44. No. 3. pp. 48–54. (In Russ.)

22. Taimazov D.G. About ways to improve metrological and operational characteristics of gas-liquid gravimeters. *Seismic instruments*. 2008e. Vol. 44. No. 4. pp. 27–35. (In Russ.)
23. Taimazov D.G. Stringed vertical gravity gradiometer. *Seismic instruments*. 2008f. Vol. 44. No. 4. pp. 36–42. (In Russ.)
24. Taimazov D.G. Limeless gravity variometer. *Seismic Instruments*. 2009f. Vol. 45. No. 3. pp. 56–59. (In Russ.)
25. Taimazov D.G. Three-fluid hydrostatic level. *Seismic instruments*. 2009. Vol. 45. No. 2. pp. 42–45. (In Russ.)
26. Taimazov D.G. On the possibility of creating a multicomponent deformation station of a trench type for seismic-prognosis observations. *Seismic instruments*. 2010. Vol. 46. No. 1. pp. 42–49. (In Russ.)
27. Taimazov D.G., Luguev T.S., Sharapudinov T.I. The variability of the coupling functions between coherent harmonics in the time series of atmospheric pressure and piezometric levels in wells. Groundwater resources of the Russian South and measures for their rational use, protection and reproduction”. *Proceedings of IG DSC RAS*. 2009. Issue. 55. pp. 279–282. (In Russ.)
28. Taimazov D.G., Mamaev S.A. On the prospects for the development of the seismic safety system of the territory of Dagestan. *Seismic hazard and seismic risk management in the Caucasus. Proceedings of the IV Caucasian International School-Seminar for Young Scientists*. Vladikavkaz. 2011. pp. 224–235. (In Russ.)
29. Taimazov D.G., Mamaev S.A. On the development of new approaches to the problem of seismic safety of the Dagestan territory using geophysical observations. *Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN*. 2010. No. 56. pp. 236–244. (In Russ.)
30. Taimazov D.G., Mamaev S.A., Abakarov A.D., Taimazov M.D. On the state and development prospects of the seismic safety system of the Dagestan territory. *Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN*. 2013. No. 51. pp. 36–42. (In Russ.)
31. Cherkashin V.I., Dorofeev V.M., Kramynin P.I., Magomedov R.A., Mamaev S.A., Nikuev R.Yu. Organization of engineering-seismometric service in the Republic of Dagestan. *Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN*. 2003. No. 14. pp. 25–37. (In Russ.)
32. Cherkashin V.I., Mamaev S.A., Magomedov R.A. Seismic monitoring and seismic risk assessment of the Dagestan territory. *Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN*. 2006. No. 50. pp. 287–291. (In Russ.)