

УДК 550.34

Региональная сеть сейсмологических наблюдений на территории Дагестана: состояние и перспективы развития

© 2022 г. Х.Д. Магомедов¹, Д.Г. Таймазов^{1,2}, З.А. Адилов¹,
М.Г. Магомед-Касумов^{1,3}, О.А. Асманов¹, М.М. Мирзалиев¹, А.М. Гаджиев¹

¹ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия; ²ИГ ДФИЦ РАН, г. Махачкала, Россия;
³ДФИЦ РАН, г. Махачкала, Россия

Поступила в редакцию 01.08.2022 г.

Аннотация. Территория Дагестана относится к числу сейсмически активных регионов европейской части России. Как в историческом прошлом, так и в последние годы в этом регионе происходили сильные и разрушительные землетрясения. К примеру, район Сулакского каскада ГЭС является одним из наиболее опасных в Дагестане как в сейсмическом, так и в экологическом отношении. За последние 53 года здесь произошли четыре сильные землетрясения с разрушительными последствиями (1970, 1974, 1975, 1999 гг.). Наиболее сильное из них – землетрясение 14 мая 1970 г. с $M=6.6$. Эпицентр основного толчка находился на расстоянии 15–20 км от строящейся тогда плотины Чиркейской ГЭС. Отсюда вытекает актуальность детального исследования особенностей сейсмического режима Дагестана и прилегающих районов. В статье рассматривается функционирующая в Дагестанском филиале (ДФ) ФИЦ ЕГС РАН единая интегрированная система сейсмологических наблюдений и приводятся сведения об аппаратуре этих наблюдений. Описаны некоторые результаты приоритетного характера, полученные с использованием разработанных в ДФ инновационных методов обработки данных. Сопоставлены результаты, полученные по каталогу Восточного Кавказа, с результатами по другим регионам мира с более плотными сетями сейсмических станций. На этой основе приведены аргументы в пользу необходимости существенного уплотнения сейсмической сети региона. Для повышения информативности геофизических наблюдений предложены реализация и использование наших запатентованных аппаратных разработок, включающих гравитационные градиентометр и вариометр, наклономер, гидронивелир, экстензометр и др. В частности, показана целесообразность реализации разработанного в ДФ широкополосного резонансного сейсмоакустического приёмника. Предложено дополнить такими приёмниками сейсмические станции для повышения их информативности.

Ключевые слова: сейсмическая активность, региональная сеть, цифровая сейсмостанция, геохимические и гидрогеодинамические наблюдения, предвестники землетрясений, методы обработки данных, геофизическое оборудование.

Для цитирования: Магомедов Х.Д., Таймазов Д.Г., Адилов З.А., Магомед-Касумов М.Г., Асманов О.А., Мирзалиев М.М., Гаджиев А.М. Региональная сеть сейсмологических наблюдений на территории Дагестана: состояние и перспективы развития // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 4. – С. 79–96. DOI: 10.35540/2686-7907.2022.4.06. – EDN: BCCXQL.

Введение

На территории ответственности Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН (далее – ДФ), ограниченной координатами $\varphi=41-45^{\circ}\text{N}$ и $\lambda=45-49^{\circ}\text{E}$, проводятся сейсмологические, геофизические, геохимические и гидрогеодинамические (ГГД) наблюдения с целью изучения сейсмического режима территории Дагестана и сопредельных районов, а также поиска предвестников землетрясений. При этом решаются следующие основные задачи:

- производство режимных круглосуточных непрерывных сейсмических, геофизических и геохимических наблюдений;
- проведение работ по определению уровня сейсмических помех на сейсмостанциях для выбора оптимальных параметров регистрирующих каналов;
- проведение текущей и сводной обработки материалов наблюдений и подготовка результатов к публикации, подготовка сводок о землетрясениях;

– проведение макросейсмических и инструментальных исследований в эпицентральной зоне в случае сильных землетрясений.

– разработка новых алгоритмов и программ обработки наблюдений.

Для решения поставленных задач в ДФ ФИЦ ЕГС РАН задействованы 17 цифровых сейсмических станций, одна геохимическая станция, четыре геохимических и три геофизических пункта наблюдений.

1. Сейсмологические наблюдения на территории Дагестана

На территории Дагестана одновременно функционируют три независимые сети сейсмологических наблюдений: сеть Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН, сеть Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал» и сеть Sev_Kavkaz_SW – и одна сейсмометрическая система, установленная на плотине Чиркейской ГЭС.

1.1. Сейсмологическая сеть и сейсмическая аппаратура ДФ ФИЦ ЕГС РАН

История непрерывных инструментальных сейсмологических наблюдений в Дагестане начинается с сейсмической станции «Махачкала», на которой в декабре 1952 г. были получены первые сейсмограммы [Асманов, Левкович, 2019], а вскоре она вошла в состав Единой сети сейсмических наблюдений на территории СССР (ЕССН) при ИФЗ АН СССР. Формирование сети сейсмостанций Дагестанского филиала АН СССР было ускорено благодаря главному сейсмическому событию XX в. на Северном Кавказе – 9-балльному землетрясению 14 мая 1970 г. в Дагестане, после которого на протяжении 53 лет (1970–2022 гг.) был выполнен значительный объем работ по изучению сейсмичности [Асманов, Адилов, 2020]. В 1973 г. была открыта сейсмостанция «Буйнакск», в 1974 г. – сейсмостанции «Дылым» и «Дубки». К 1975 г. было завершено строительство зданий под стационарные сейсмостанции в г. Дербенте и в селе Ахты. Все вышеперечисленные стационарные станции организованы под руководством Р.А. Левковича. В 1984–1999 гг. работа по развитию сети сейсмических станций была продолжена и под руководством О.А. Асманова введены в действие следующие сейсмостанции: «Унцукуль» (1984 г.), «Кумух» (1985 г.), «Касумкент» (1987 г.), «Сергокала» (1987 г.), «Каранай» (1988 г.), «Аракань» (1989 г.), «Хунзах» (1992 г.) и «Ботлих» (1994 г.). Во главе с М.М. Мирза-

лиевым к сети добавлены станции «Уркарах» (1998 г.), «Гуниб» (1999 г.) и «Караман» (2013 г.). По программе модернизации наблюдательной сети, с целью повышения её информативности, за последние годы (2008–2015 гг.) производился перевод аналоговых региональных сейсмических станций на цифровую регистрацию: «Дубки» – 01.11.2008 г., «Гуниб» – 19.09.2008 г., «Ботлих» – 28.06.2010 г., «Ахты» – 17.10.2010 г., «Дербент» – 02.09.2010 г., «Хунзах» – 21.07.2011 г., «Уркарах» – 20.06.2012 г., «Буйнакск» – 14.06.2013 г., «Караман» – 01.12.2013 г., «Сергокала» – 06.11.2014 г., «Дылым» – 12.11.2014 г., «Каранай» – 19.11.2014 г., «Аракань» – 20.11.2014 г., «Касумкент» – 16.06.2015 г., «Унцукуль» – 01.08.2015 г., «Кумух» – 21.10.2015 г. На этих станциях были установлена аппаратура типа SDAS и UGRA. 15 апреля 2019 г. была открыта новая цифровая сейсмическая станция «Тлярата».

Схема расположения станций наблюдательной сети ДФ по состоянию на текущий момент показана на рис. 1. Локализация и краткие характеристики цифровых станций приведены в табл. 1 и 2.

Пополнение цифрового архива волновых форм сейсмологической сети ДФ ФИЦ ЕГС РАН начинается на этапе сбора данных сервером приёма данных. Информационный поток в режиме реального времени принимает программный сборщик, далее программа обрабатывает пакеты, пришедшие со станций, помещает данные в формате miniSeed в директорию с названием соответствующих сейсмостанций. Затем накопленные данные с помощью утилиты сохраняются в структурированный вид для дальнейшей записи на внешнее хранилище. Структура архивации задаётся максимальным объёмом внешнего носителя.

По 17 станциям филиала годовой объём архивных данных составляет в среднем около 133 тыс. записей или около 260 ГБ.

2.2. Оценка информативности и эффективности сети сейсмических станций ДФ

Оценка информативности сейсмостанций, используемых в ДФ при обработке записей землетрясений за последние три года, приведена на рис. 2. На гистограмме по оси ординат отложено число землетрясений, в определении параметров которых участвовала соответствующая сейсмостанция. Как видно из гистограммы, сейсмические станции «Аракань», «Каранай», «Кумух», «Унцукуль», «Тлярата» и «Хунзах» являются самыми информативными.

Таблица 1. Сведения о цифровых сейсмических станциях ДФ ФИЦ ЕГС РАН (код сети DAGSR) в 2022 г.

№	Сейсмическая станция			Дата открытия– закрытия (последней модерни- зации)	Координаты и высота над уровнем моря			Подпочва	Тип оборудования
	название	код			φ, °N	λ, °E	h, м		
		между- народный	регио- нальный						
1	Аракани	ARKR	ARK	08.02.1989 (20.11.2014)	42.602	46.994	760	Известняк	СКМ-3+UGRA
2	Ахты	AKT	ANT	04.06.1974 (28.05.2018)	41.479	47.715	1115	Аргиллит	TS120- SV1+UGRA
3	Ботлих	BTLR	BTL	19.11.1994 (28.06.2010)	42.665	46.219	970	Песчаник	СМ-3КВ+UGRA
4	Буйнакск	BUJR	BUJ	13.09.2000 (14.06.2013)	42.809	47.130	460	Песчаник	СМ-3КВ+UGRA
5	Гуниб	GNBR	GNB	07.07.1999 (21.01.2020)	42.389	46.964	1210	Известняк	СМ-3КВ+SDAS; СМ-3КВ+Ермак-5
6	Дербент	DRN	DRN	25.06.1975– 01.06.2015; 05.11.2015	42.020 41.998	48.332 48.339	–20 –21	Известняк	СМ-3КВ+UGRA
7	Дубки	DBC	DBC	01.03.1975 (04.02.2020)	43.022	46.841	850	Известняк	СМ-3КВ+Ермак-5
8	Дылым	DLMR	DLM	08.09.1974 (12.11.2014)	43.073	46.619	660	Делювий	СМ-3+UGRA
9	Караман	KANR	KANR	01.12.2013	43.196	47.489	–25		СМ-3КВ+UGRA
10	Каранай	KRNR	KRN	04.04.1988 (19.11.2014)	42.827	46.905	1250	Известняк	СКМ-3+UGRA
11	Касумкент	KSMR	KSM	01.10.1987 (16.06.2015)	41.602	48.125	930	Аллювий	СМ-3+UGRA
12	Кумух	KMKR	KUM	01.04.1985 (21.10.2015)	42.129	47.098	1898	Аргиллит	СКМ-3+UGRA
13	Сергокала	SGKR	SGK	01.12.1987; 10.01.1997 (06.11.2014)	42.45 42.458	47.67 47.656	400 560	Известняк	СКМ-3+UGRA
14	Тлярата	–	TLTR	15.04.2019	42.106	46.354	1429		СМ-3+UGRA
15	Унцукуль	UNCR	UNC	01.02.1984 (01.08.2015)	42.716	46.793	780	Песчаник	СКМ-3+UGRA
16	Уркарах	URKR	URK	01.02.1998 (20.06.2012)	42.165	47.631	1330	Скальные породы	СМ-3КВ+UGRA
17	Хунзах	XNZR	XNZ XNZR	17.01.1992 (21.07.2011);	42.545	46.705	1680	Скала, известняк	СМ-3КВ+UGRA
		HNZR	HNZR	06.10.2016	42.558	46.717	1675		

Таблица 2. Оснащённость станций ДФ ФИЦ ЕГС РАН цифровой сейсмометрической аппаратурой по состоянию на 01.07.2022 г.

№	Станция		Аппаратура				
	название	код	тип	перечень каналов	частотный диапазон, Гц	частота опросов	разрядность АЦП
1	Аракани	ARKR	UGRA+CKM-3	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
2	Ахты	AKT	UGRA+TS120-SV1	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
3	Ботлих	BTLR	UGRA+CM-3KB	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
4	Буйнакск	BUJR	UGRA+CM-3KB	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
5	Гуниб	GNBR	Ермак-5+CM-3KB	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
6	Дербент	DRN	UGRA+CM-3KB	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
7	Дубки	DBC	Ермак-5+CM-3KB	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
8	Дылым	DLMR	UGRA+CM-3	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
9	Караман	KANR	UGRA+CM-3KB	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
10	Каранай	KRNR	UGRA+CKM-3	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
11	Касумкент	KSMR	UGRA+CM-3	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
12	Кумух	KMKR	UGRA+CKM-3	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
13	Сергокала	SGKR	UGRA+CKM-3	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
14	Тлярата	TLTR	UGRA+CM-3	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
15	Унцукуль	UNCR	UGRA+CKM-3	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
16	Уркарах	URKR	UGRA+CM-3KB	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24
17	Хунзах	HNZR	UGRA+CM-3KB	SH (N,E,Z)	0.5–30	50	24

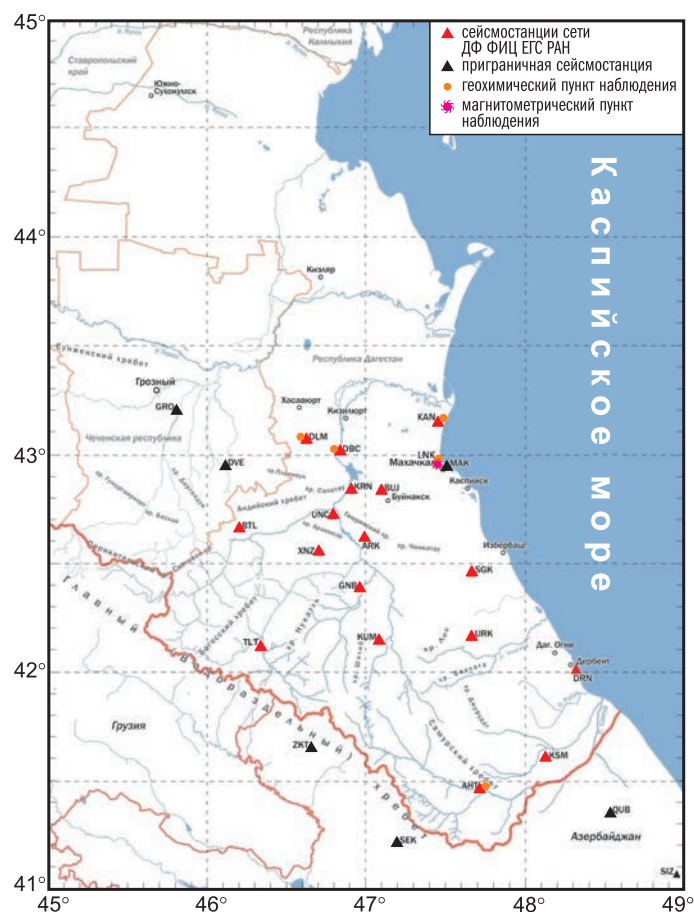


Рис. 1. Карта расположения станций и пунктов наблюдательной сети ДФ ФИЦ ЕГС РАН

Вопрос оценки эффективности сети сейсмических станций, предназначенной для сейсмического мониторинга территории, является одним из важных вопросов. В рамках этой оценки определялась осреднённая дальность регистрации для каждой станции в зависимости от энергетического класса землетрясений. Используя накопленные реальные данные дальностей регистрации землетрясений разных энергетических классов, строилась карта разрешающей способности (чувствительности) всей сети. Для построения изолиний использовались постанционные графики распределения дальности регистрации землетрясений в зависимости от энергетического класса (рис. 3). На этих графиках по оси абсцисс откладывались дальности регистрации землетрясений, а по оси ординат – соответствующие энергетические классы землетрясений. На полученных графиках проводились осредняющие огибающие по основной массе нижних точек, по которым определялись максимальные радиусы регистрации землетрясений. Параллельным переносом полученных огибающих вдоль оси ординат на половину деления в направлении возрастания (по ошибке определения класса, равной ± 0.5) были получены уверенные радиусы регистрации. Наложением на единую карту полученных данных по всем станциям для каждого энергетического класса вырисовывались искомые изолинии.

Были построены карты разрешающей способности сети сейсмических станций ДФ ФИЦ ЕГС РАН по данным сейсмологиче-

ских наблюдений в 2013–2015 гг. после полного перехода на цифровую запись сейсмограмм (рис. 4а) и по данным 2010 г., когда в сети действовали наряду с 11 цифровыми пять аналоговых сейсмостанций (рис. 4б). Как видно из карт, с полным переходом на цифровую форму записи сейсмограмм расширились возможности изучения умеренной и слабой сейсмичности региона, особенно в центральной части Дагестана, а также расширился охват территории наблюдения.

2.3. Сейсмологическая сеть и сейсмическая аппаратура Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал»

Сейсмологическая сеть Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал» создана для организации сейсмологического мониторинга гидротехнических сооружений гидроузлов Сулакского Каскада ГЭС. В состав гидроузлов Сулакского каскада ГЭС входят: Гунибская ГЭС, Гергебильская ГЭС, Гоцатлинская ГЭС, Ирганайская ГЭС, Чиркейская ГЭС, Миатлинская ГЭС, Чирюртская ГЭС 1, 2 и Гельбахская ГЭС. Автоматическая сейсмологическая сеть Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал» состоит из 12 пунктов наблюдений (рис. 8, табл. 3). Каждый пункт наблюдения оборудован широкополосным сейсмическим датчиком Guralp CMG-6TD со встроенным регистратором. Для передачи зарегистрированных данных и обеспечения бесперебойного питания сейсмометра в каждом пункте наблюдения смонтировано дополнительное активное оборудование.

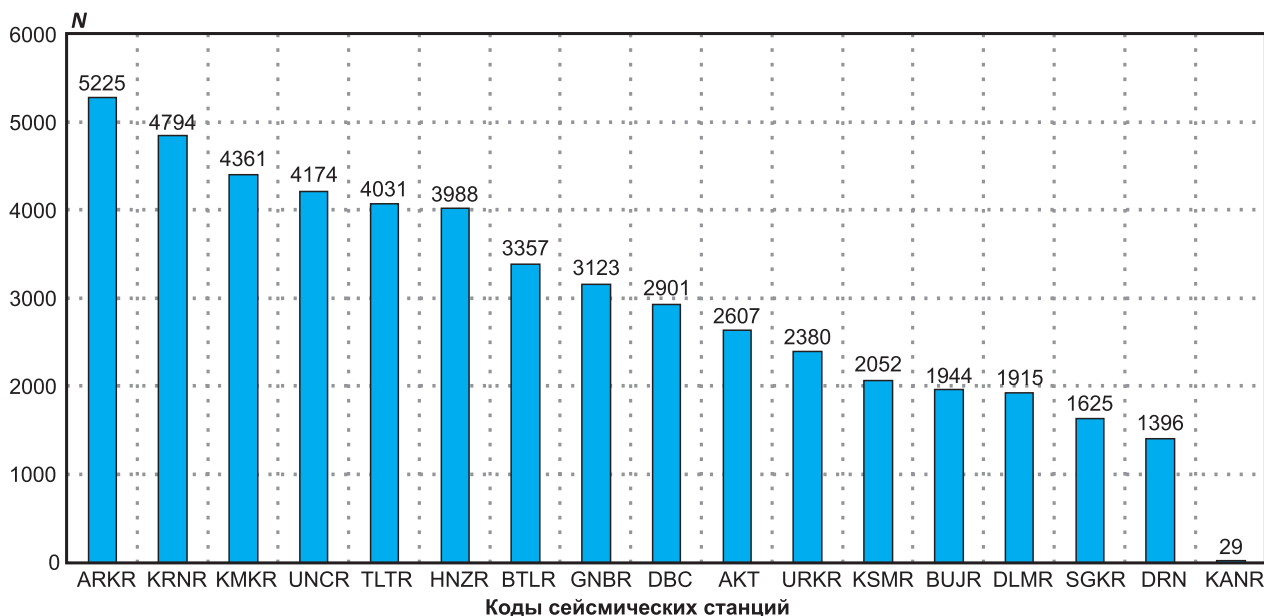


Рис. 2. Оценка информативности сейсмостанций, используемых в ДФ ФИЦ ЕГС РАН при определении параметров гипоцентра землетрясения

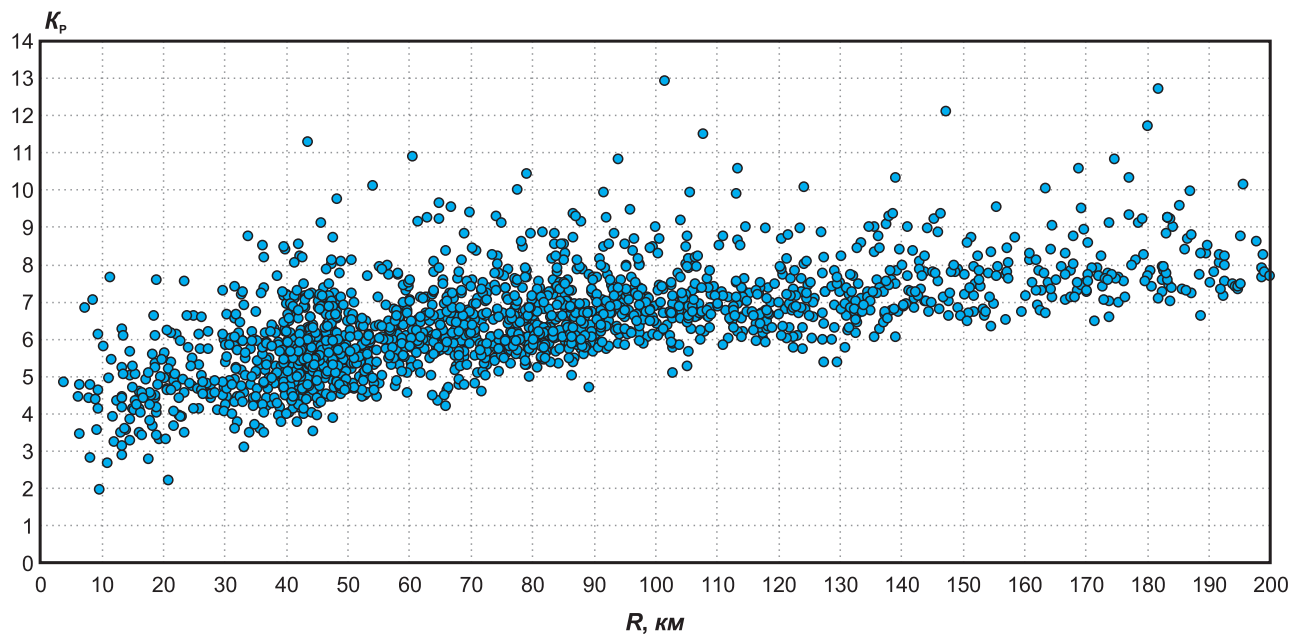


Рис. 3. Распределение дальности регистрации землетрясений (R) в зависимости от их энергии (K_p) для сейсмостанции «Хунзах»

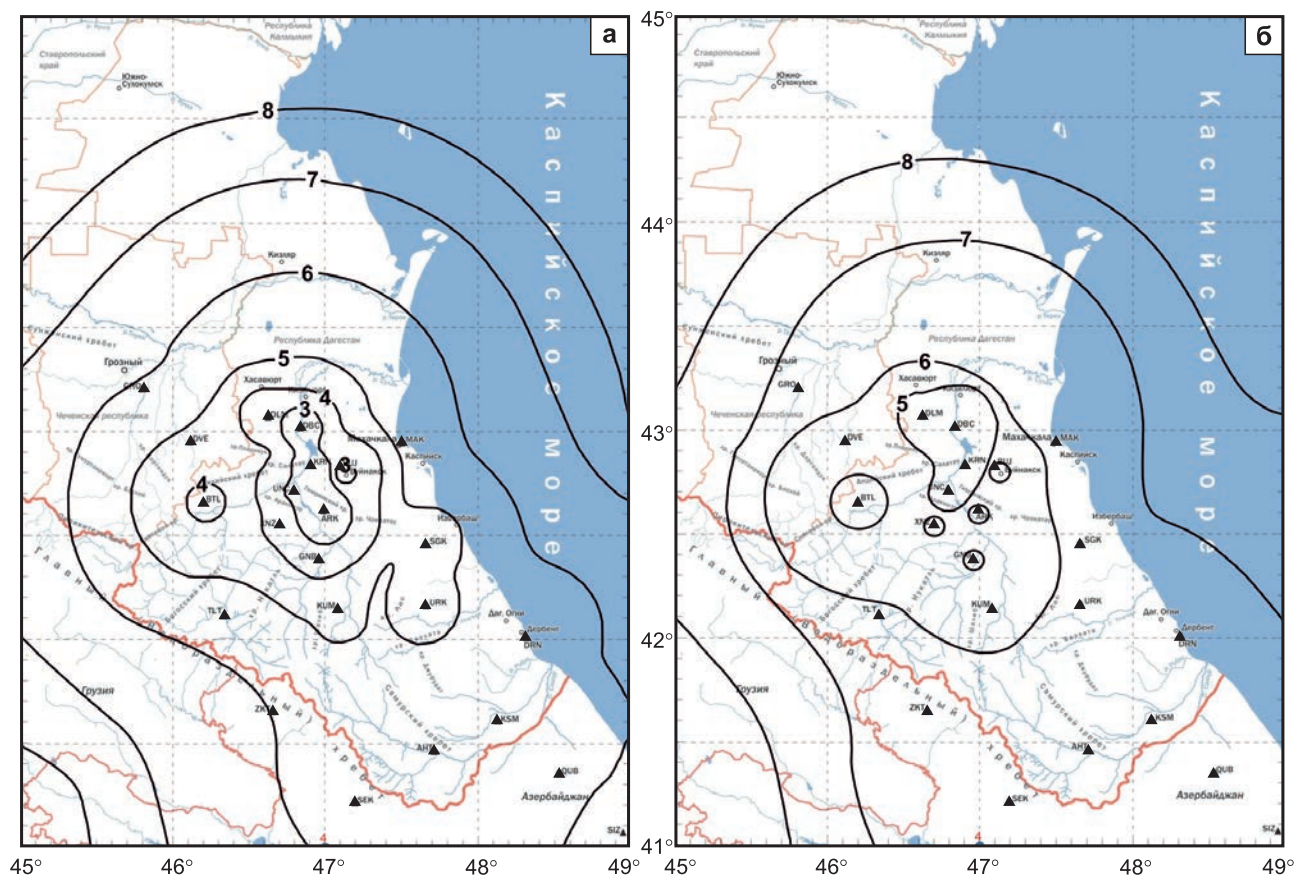


Рис. 4. Карты разрешающей способности сети сейсмостанций ДФ ФИЦ ЕГС РАН на территории Дагестана и прилегающих районов в 2013–2015 гг. (а) и в 2010 г. (б)

Таблица 3. Координаты сейсмостанций сети Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал»

№	Станции	Код станции	Координаты	
			φ, °N	λ, °E
1	Гоцатль	GOCG	42.525	46.879
2	Хунзах	HNZG	42.558	46.716
3	Гергебиль	GRBG	42.500	47.054
4	Карадах	KRDG	42.471	46.871
5	Аракани	ARKG	42.602	46.994
6	Гуниб	GNBG	42.389	46.963
7	Унцукуль	UNCG	42.715	46.792
8	Дубки	DBCG	43.021	46.840
9	В. Каранай	KRNG	42.826	46.905
10	Дылым	DLMG	43.070	46.617
11	Бавтугай	BVTG	43.173	46.833
12	Учкент	UCKG	43.107	47.081

2.4. Оценка регистрационных возможностей локальной сейсмической сети Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал»

На микросейсмический фон и, как следствие, на регистрационные возможности локальной сейсмической сети влияют различные экзогенные процессы (метеофакторы – ветер и осадки, техногенные процессы и др.), имеющие различные временные и энергетические характеристики. Наиболее мощные из них – антропогенные сейсмические шумы, основной вклад в которые вносят воздействия от индустриально-промышленной деятельности, жизни населенного пункта, движения наземного и воздушного транспорта и т.д. Антропогенные сейсмические шумы являются колебаниями интерференционного типа, и их максимум лежит в диапазоне частот 1–10 Гц. К другим причинам увеличения амплитуд микросейсм следует отнести неблагоприятные грунтовые условия. Исходными данными для анализа являлись непрерывные суточные записи сейсмостанций и реальные дальности регистрации землетрясений разных энергетических классов на сейсмостанциях сети.

Низкий уровень микросейсмического фона соответствует наиболее благоприятным условиям для регистрации землетрясений. Пункты наблюдения ARKG, GOCG, DBKG, KRNG, UNCG,

GRBG и KRDG характеризуются относительно низким уровнем микросейсмического фона, что благоприятно сказывается на регистрационных возможностях аппаратуры. Пункты наблюдения BVTG, DLMG, UCKG, HNZG и GNBG характеризуются повышенным уровнем микросейсмического фона. На рис. 5 приведена осреднённая за сутки спектральная плотность мощности микросейсм для станции «Бавтугай», где по оси абсцисс представлено изменение частот, а по оси ординат – искомая величина.

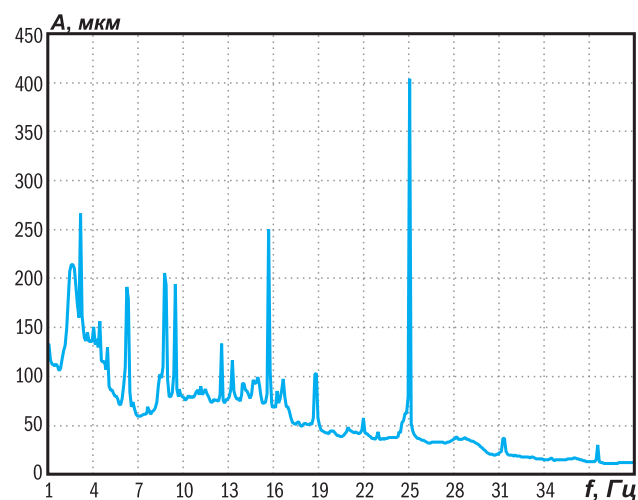


Рис. 5. Осреднённая за сутки спектральная плотность мощности микросейсм на станции «Бавтугай»

Как видно из рис. 5, относительно высокой мощностью отличаются следующие частоты: 2.6, 3.1, 6.2, 8.7, 9.3, 15.5 и 25.0 Гц, природу которых можно отнести к индустриально-промышленной из-за круглосуточного характера их существования. Из приведённых частота 3.1 является частотой вращения генераторов типа ВГС-650/130-32, эксплуатируемых на Чирюртовской ГЭС, в непосредственной близости от которой расположена станция «Бавтугай». Частоты 6.2 и 9.3 Гц являются высшими гармониками генераторной частоты 3.1 Гц.

Карта разрешающей способности сети сейсмических станций Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал» изображена на рис. 6.

Согласно полученной карте (рис. 6), сеть сейсмических станций Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал» обеспечивает уверенную регистрацию землетрясений с $K_p=5$ в центральной части Дагестана в районе Сулакского каскада ГЭС. Землетрясения с $K_p=7$ представительны почти для всей территории Дагестана. Землетрясения с $K_p \geq 8$ регистрируются все.

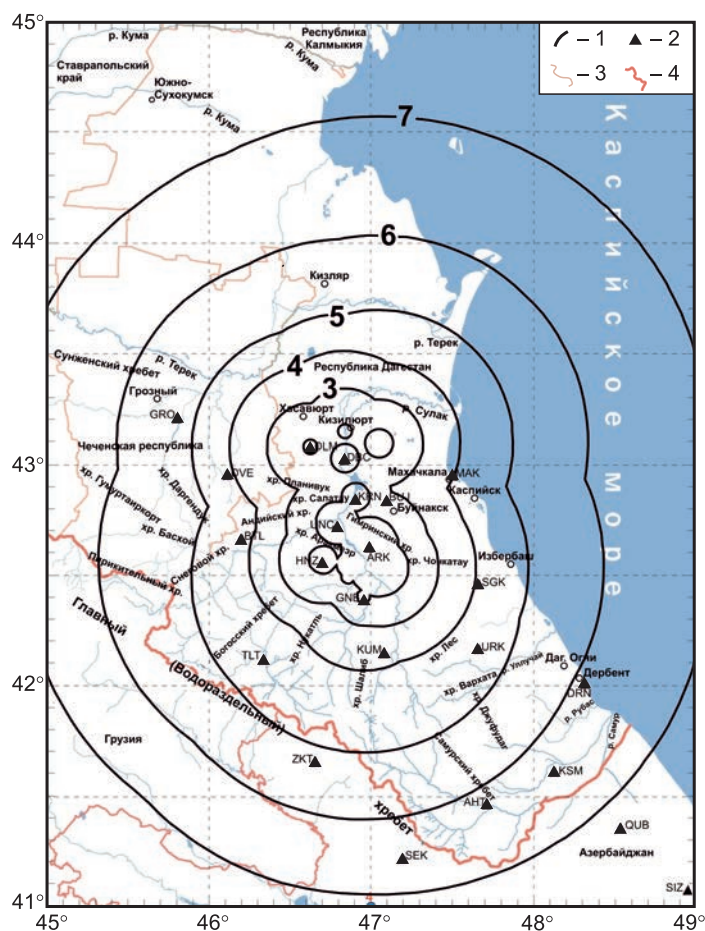


Рис. 6. Карта разрешающей способности сети сейсмических станций Филиала ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал».

- 1 – изолинии дальности регистрации; 2 – сейсмическая станция; 3 – граница Дагестана;
4 – государственная граница

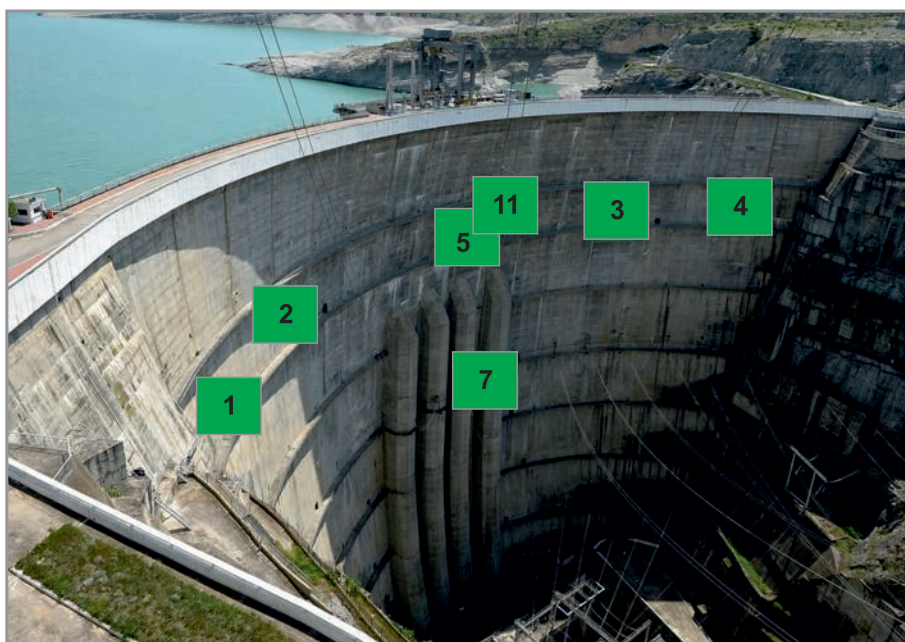


Рис. 7. Схема расположения сейсмометрической системы плотины Чиркейской ГЭС

2.5. Сейсмологическая сеть Sev_Kavkaz_CW

В табл. 4 приводятся координаты и аппаратура сейсмостанций сети Sev_Kavkaz_CW.

Таблица 4. Координаты и аппаратура сейсмостанций сети Sev_Kavkaz_CW

№	Станция	Координаты			Тип прибора
		φ , °N	λ , °E	h , м	
1	D01	42.992	46.745	1202	Guralp3ESPDE
2	D03	42.862	46.670	2050	Guralp3ESPDE
3	D04	42.842	46.629	1703	Guralp3ESPDE
4	D05	42.810	46.580	1573	Guralp3ESPDE
5	D06	42.798	46.499	1510	Guralp3ESPDE
6	D07	42.755	46.422	1674	Centaur-3 Trillium TPC-120
7	D08	42.732	46.318	1200	Centaur-3 Trillium TPC-120
8	D09	42.676	46.111	1370	Centaur-3 Trillium TPC-120
9	D10	42.580	46.105	1700	Centaur-3 Trillium TPC-120
10	D11	42.540	46.125	935	Centaur-3 Trillium TPC-120
11	D12	42.472	46.068	1023	Centaur-3 Trillium TPC-120
12	D13	42.435	45.994	1400	Centaur-3 Trillium TPC-120

2.6. Сейсмометрическая система плотины

Чиркейской ГЭС

На рис. 7 изображена схема расположения сейсмометрической системы плотины Чиркейской ГЭС, где приведены пункты расположения семи из 11 сейсмических станций надземной части плотины и их нумерация. 12-я сейсмостанция этой системы совмещена со станцией «Дубки» ДФ.

3. Геохимические наблюдения на территории Дагестана

ДФ, помимо сейсмологической сети, располагает сетью геохимических пунктов наблюдения. Цель – выявление в компонентном составе природных газов и в концентрациях водорода в приземной атмосфере вариаций, связанных с сейсмическими событиями разного генезиса.

Геохимическая станция «Караман»

Станция расположена в районе Махачкалинско-Тернаирской тектонической структуры в 32 км севернее Махачкалы на побережье Каспийского моря. Географические координаты:

$\varphi=43.2^\circ\text{N}$ и $\lambda=47.45^\circ\text{E}$, гипсометрический уровень – (–25) м. Станция оборудована современным газовым хроматографом «Кристаллюкс-500». Геохимические наблюдения ведутся за компонентным составом попутного газа из самоизливающейся водяной скважины «Караман», эксплуатационная глубина которой составляет 643 м. Пробы газа отбираются один раз сутки в 12 ч дня. Газ состоит в основном из CH_4 , N_2 и CO_2 , присутствует также гелий.

Наблюдательный пункт «Дубки»

Расположен пункт в сейсмоактивной области Дагестанский клина на сейсмостанции «Дубки». Географические координаты: $\varphi=43.02^\circ\text{N}$ и $\lambda=46.84^\circ\text{E}$. Пункт оборудован высокочувствительным сенсором водорода ВСГ-02. Чувствительность датчика составляет 10^{-6} – 10^{-3} об. %. Датчик установлен в подвальном помещении сейсмостанции и работает в непрерывном режиме.

Наблюдательный пункт «Дылым»

Расположен пункт на сейсмостанции «Дылым» на севере Республики Дагестан на границе с Чеченской Республикой. Географические координаты: $\varphi=43.07^\circ\text{N}$ и $\lambda=46.62^\circ\text{E}$. Пункт оборудован высокочувствительным сенсором водорода ВГ-3А. Чувствительность датчика составляет 10^{-6} – 10^{-3} об. %. Датчик установлен в подвальном помещении сейсмостанции и работает в непрерывном режиме.

Наблюдательный пункт «Ленинкент»

Расположен пункт в районе Махачкалинско-Тернаирской тектонической структуры в 10 км северо-западнее Махачкалы в посёлке Ленинкент. Географические координаты: $\varphi=42.58^\circ\text{N}$ и $\lambda=47.21^\circ\text{E}$. Пункт оборудован высокочувствительным сенсором водорода ВГ-3А. Чувствительность датчика составляет 10^{-6} – 10^{-3} об. %. Датчик установлен в подвальном помещении жилого дома и работает в непрерывном режиме.

Наблюдательный пункт «Ахты»

Расположен пункт на юге Республики Дагестан на сейсмостанции «Ахты», недалеко от границы Республики Азербайджан, и относится к Шеки-Шемахинской сейсмоактивной зоне. Географические координаты: $\varphi=41.48^\circ\text{N}$ и $\lambda=47.72^\circ\text{E}$. Пункт оборудован высокочувствительным сенсором водорода ВГ-3А. Чувствительность датчика составляет 10^{-6} – 10^{-3} об. %. Датчик установлен в подвальном помещении сейсмостанции и работает в непрерывном режиме.

В целом геохимические исследования направлены на изучение газо-геохимических критериев

оценки сейсмической активности на Восточном Кавказе. Основное внимание уделяется лёгким газам, в частности, вариациям водорода в приземной атмосфере и гелия в природном газе, поскольку их вариации во времени более адекватно отражают внутреннее состояние блоков земной коры, их стабильное или активное состояние.

Сопоставление временного ряда концентраций водорода в приземной атмосфере на наблюдательном пункте «Дубки» с сейсмическим режимом региона показало [Саидов, 2020], что скачкообразные изменения дисперсии концентрации водорода, как правило, соответствуют сейсмическим событиям, в ряде случаев являясь их предвестниками. Строгий статистический анализ этих наблюдений, вместе с наблюдениями гелия в попутном газе самоизливающейся водяной скважины на станции «Караман» [Саидов и др., 2020], приводит к следующим выводам: 1 – относительно преобладающее число событий выше 9 энергетического класса в регионе попадает на временные интервалы возрастания дисперсии концентрации водорода и на интервалы минимума самой концентрации, при этом временные ряды дисперсий теснее коррелируют с региональной сейсмичностью, чем ряды самих концентраций, но чем выше классы рассматриваемых событий, тем менее существенной становится разница; 2 – относительно преобладающее число событий выше 9 класса попадает на интервалы максимума дисперсии концентрации гелия и на интервалы возрастания самой концентрации, причём в обоих случаях степень корреляции примерно одинакова и тем заметней, чем выше класс землетрясений; 3 – сопоставительный анализ сейсмических и геохимических временных рядов, выполненный с учётом только тех землетрясений, в зоны подготовки которых попадают пункты наблюдения, не приводит к однозначным выводам ввиду недостаточной статистики (количество событий не превышает 11 для пункта «Дубки» и шести – для пункта «Караман»). Следует расширить охватываемую наблюдениями площадь путём отбора и анализа проб в стационарных условиях.

4. Геофизические наблюдения

4.1. Гидрогеодинамические (ГГД) наблюдения

На территории Дагестана, начиная с 2000 г., проводятся наблюдения за уровнем воды в пьезометрических скважинах «Айды», «Каспийск-115» и «Серебряковка», которые находятся в различных геодинамических условиях, и параллель-

но – за атмосферным давлением. Для обработки данных этих наблюдений, в развитие подхода, использованного в работах [Любушин, Малугин, 1993; Любушин, Лежнев, 1995], в которых для оценки временных изменений деформаций земной коры используется функция отклика уровня воды на изменения атмосферного давления, нами была разработана новая методика исследования функции отклика, основанная на построении и анализе рядов относительных амплитуд отклика (ОАО) [Таймазов, 2008а; 2006]. Методика, реализованная в компьютерной программе [Таймазов и др., 2016b], включает в себя следующие шаги:

- удаление трендовой составляющей;
- гармонический анализ временного ряда почасовых синхронных наблюдений атмосферного давления и уровня воды в скважине посредством метода скользящего временного окна с шириной окна в 30 дней и шагом в 1 час. При этом предварительно из окна удаляется также и локальный тренд;
- во временном ряде наблюдений за атмосферным давлением выбираются доминирующие гармоники (полусуточные и суточные), а также соответствующие им гармоники во временном ряде наблюдений за уровнем вод в скважине;
- путём сопоставления амплитуд и фаз найденных когерентных гармоник определяются относительные амплитуды отклика (ОАО) как отношение амплитуд выбранных гармоник для ряда наблюдений уровня вод и ряда наблюдений за атмосферным давлением. Мы получаем новый временной ряд ОАО с дискретизацией, равной шагу скользящего окна, что составляет в нашем случае 1 ч;

– полученный временной ряд подвергается повторному гармоническому анализу для выделения в нём суточных и долгопериодических приливных гармоник, например, полумесячных и месячных, по которым производится калибровка амплитуд гармоник в относительных деформациях. Выделенные гармоники могут быть использованы для мониторинга напряжённо-деформированного состояния земной коры.

С использованием данной программы были обработаны ГГД-наблюдения по этим трём скважинам за 2000–2009 гг. и выявлены существенные аномалии во временных рядах ГГД-наблюдений на территории Дагестана, возможно связанные с сейсмотектоническими процессами.

4.2. Повторные гравиметрические наблюдения

Поскольку деформационные процессы в земной коре, предшествующие землетрясениям

и сопровождающие их, неизбежно связаны с перемещениями масс, а также с уплотнением и разуплотнением среды [Dobrovolsky, 2005], то эти процессы должны отражаться на гравитационном поле, наблюдаемом на дневной поверхности. В частности, неприливные изменения силы тяжести (НИСТ) и её вертикального градиента напрямую связаны с вертикальными движениями земной коры – самым информативным и в то же время самым трудоёмким в измерении компонентом деформаций земной коры. Следовательно, наблюдая за временными изменениями компонентов гравитационного поля – силой тяжести и его вертикального градиента – можно судить о сейсмодеоформационных процессах в земной коре. Исходя из этого, в 1980-х гг. на сейсмоактивной территории Дагестана, с использованием серийно выпускаемых гравиметров 2-го класса точности ГНУ-К2, ГНУ-КС, ГНУ-КВ (завод НЕФТЕКИП, Москва), по разработанной нами специальной методике была разбита трёхуровневая сеть для повторных гравиметрических наблюдений, которая помимо НИСТ позволила бы оценивать временные вариации вертикального градиента силы тяжести.

Наибольшее число пунктов (19) расположено на среднем уровне, охватывающем районы Чиркейской и Миатлинской ГЭС. Верхний уровень, отстоящий по вертикали от среднего уровня на ~ 300 м, содержит 11 пунктов и сдвинут относительно него вверх по течению реки Сулак, частично перекрывая при этом средний уровень. Нижний уровень, который отстоит от среднего уровня по высоте на ~ 200 м, представлен 12 пунктами, охватывающими города Махачкала и Каспийск, а также район Димитровского газоконденсатного месторождения. Разброс значений силы тяжести между пунктами каждого уровня не превышает ~ 1 мГал. Подбор пунктов с таким малым разбросом в условиях предгорной и горной местности не встречает принципиальных трудностей.

Проведённые на долговременных гравиметрических пунктах (ДГП) сети наблюдения, с учётом использованной аппаратуры второго класса точности, следует считать рекогносцировочными. Считаем целесообразным возобновить наблюдения НИСТ на этих пунктах с использованием современных высокоточных гравиметров, например, CG-5 Autograv фирмы Scintrex (Канада), поскольку российских аналогов, сравнимых по классу точности с CG-5, пока не существует. При этом, по нашим оценкам [Таймазов Д., Таймазов М., 2017], точность определения НИСТ на нашем полигоне может быть доведена

до ~ 0.001 – 0.002 мГал, что существенно повысит вероятность выявления гравитационных предвестников землетрясений, являющихся самыми однозначно интерпретируемыми из всех.

4.3. Магнитометрические наблюдения

В настоящее время магнитометрические наблюдения проводятся с помощью портативного протонного магнитометра (модернизированного) МИНИМАГ-М на стационарном пункте в пос. Ленинкент в пригороде Махачкалы и приурочены к наиболее сейсмоактивной части зоны ответственности ДФ.

МИНИМАГ-М – модернизированная модель портативного протонного магнитометра, предназначенная для поиска и разведки месторождений полезных ископаемых и как автономная магнитовариационная станция (МВС) с программируемым циклом работы при максимальном быстродействии одно измерение в 2 секунды. Определяемый параметр – модуль полного вектора магнитной индукции.

По итогам анализа проведённых нами ранее магнитометрами М-33, ММП-203 и М-27М вблизи Чиркейского водохранилища наблюдений было установлено [Сулейманов и др., 2010], что связанные с вариациями уровня воды в водохранилище изменения вертикальной составляющей геомагнитного поля примерно в 5 раз превосходят изменения модуля полного вектора. Единственно возможным объяснением этого является поворот вектора намагниченности горных пород под действием переменной нагрузки от водохранилища. Это означает, что составляющие вектора геомагнитного поля во много раз более чувствительны к геодеоформационным процессам, чем модуль полного вектора, в связи с чем становится актуальным приобретение трёхкомпонентных магнитовариационных станций и проведение дальнейших наблюдений как в стационарном режиме, так и путём периодического «опроса» закреплённых на полигоне пунктов наблюдений.

4.4. Мониторинг кажущегося сопротивления горных пород ρ_k на пункте Туралинский

Туралинский измерительный участок расположен в южной окрестности г. Махачкалы. Географические координаты: $\varphi=42.94^\circ$ N и $\lambda=47.58^\circ$ E. Верхняя часть геологического разреза состоит из водонепроницаемой глинистой толщи с прослойками песков. Мощность преимущественно глинистой толщи составляет 30–40 м. Нижележащий слой сложен из глин и песчаников. Уровень подземных вод расположен примерно на глубине 28–30 м. Средняя величина

кажущегося удельного электрического сопротивления составляет $\rho_k = 5 \text{ Ом}$.

Данный вид исследований проводится с целью выявления предвестников сейсмических событий.

4.5. Наблюдения температуры в скважине

Наблюдения за вариациями геофизических параметров в скважине в районе плотины Чиркейской ГЭС проводятся с декабря 2009 г. (пять каналов электрического поля (фильтрационный потенциал и электропроводность) и один канал — изменение температуры). Глубина скважины — 195 м.

После того, как анализ наблюдений за период 2009—2016 гг. параметров электрического поля не выявил в них каких-либо закономерностей, связанных с ритмическими геофизическими процессами, или корреляций с сейсмическим режимом, а в температурных наблюдениях на глубине 130 м вопреки ожиданиям обнаружили устойчивую суточную гармонику и её обертоны, было решено сосредоточиться на данных температурных измерений.

На рис. 8 показан временной ход температуры в период 2009—2020 гг. Выделяются колебания температуры с годовым периодом и амплитудой порядка 0.02°C на фоне линейного тренда, составляющего $+0.26^\circ\text{C}$ за десять лет. Тренд соответствует темпу глобального потепления, а годовые колебания, естественно, связаны с сезонными изменениями температуры.

Что касается внутрисуточных гармоник с периодами 24, 12, 8 и 6 ч, то их природа пока не выяснена, хотя определённая корреляция с гло-

бальной сейсмичностью прослеживается [Таймазов и др., 2019a]. Для внесения ясности в этот вопрос в 2022 г. мы установили в скважине термодатчики на трёх уровнях. Идёт накопление данных.

5. Перспективы развития сети сейсмологических и геофизических наблюдений на территории Дагестана

Приведённые далее аргументы и предложения, направленные на повышение информативности сейсмических и геофизических наблюдений на территории Дагестана, проистекают в основном из разработанных нами и апробированных на наблюдательном материале по территории Восточного Кавказа и других регионов мира инновационных методов обработки и анализа данных. Одним из таких является метод, описанный в [Таймазов Д., Таймазов М., 2018a] и реализованный в компьютерной программе [Таймазов и др., 2018].

Обработка по этому алгоритму сейсмических наблюдений вблизи Чиркейского водохранилища впервые привела к обнаружению суточных (24 ч) и полусуточных (12 ч) гармоник в вариациях слабой сейсмичности. Обработка данных по другим регионам мира, например, по Новой Зеландии, где сейсмическая сеть во много раз плотнее, чем в Дагестане, позволила обнаружить, помимо 24-часовой гармоники, также полный набор её обертонов — 12, 8, 6 и 4 ч [Таймазов и др., 2019b; Магомедов и др., 2021]. А обработка сейсмических наблюдений по Северной Калифорнии

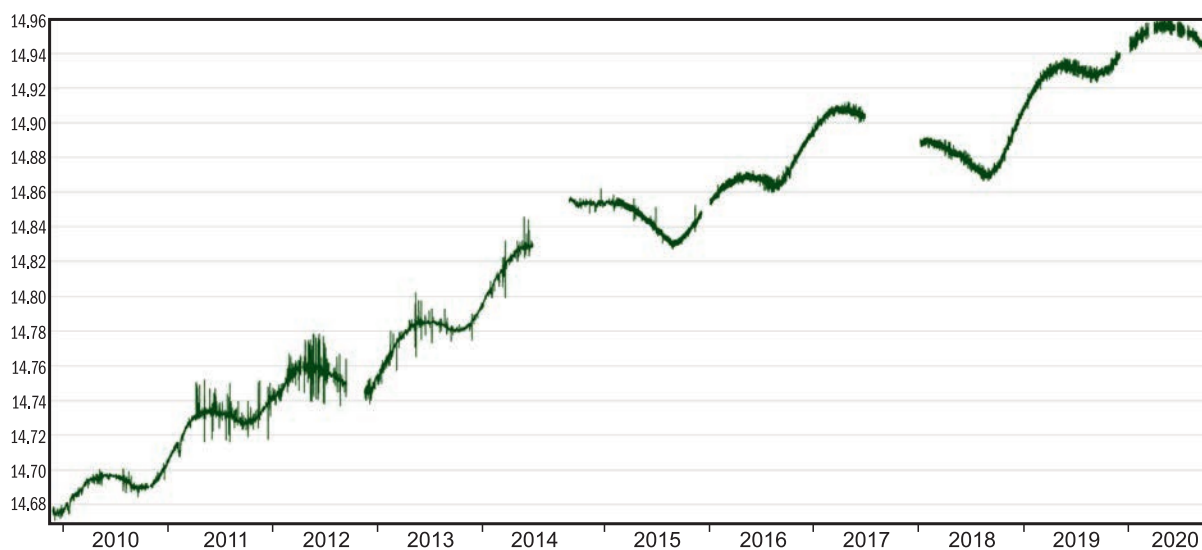


Рис. 8. Временной ход температуры воды в скважине станции «Чиркей» за период с декабря 2009 г. по декабрь 2020 г. (глубина — 130 м)

позволила впервые выделить основную приливную волну M2 в слабой сейсмичности в диапазоне энергетических классов от 5 до 10 с амплитудами, превышающими 5σ [Магомед-Касумов и др., 2022; Магомедов и др., 2021]. Учитывая, что устойчивые гармоники в слабой сейсмичности являются дополнительными каналами информации, в том числе и прогностической [Пугин, Кузнецова, 1992], то полученные результаты являются веским аргументом в пользу уплотнения сейсмической сети в регионе до уровня, сравнимого с североамериканской и японской, с обязательной автономизацией станций.

Повышению информативности самих сейсмических станций могла бы помочь также реализация нашей разработки [Таймазов Д., Таймазов М., 2018b] для регистрации эндогенных высокочастотных сейсмических шумов, прогностическая информативность которых подтверждена многолетними наблюдениями на Камчатке [Салтыков и др., 2008]. Это позволило бы реализовать на практике наш подход к прогнозированию землетрясений на территории Дагестана, описанный в [Таймазов, 2020]. Этот подход развивает ранее запатентованные способы прогнозирования землетрясений [Таймазов, 2008b; Таймазов Д., Таймазов М., 2018c], которые реализованы в компьютерной программе [Таймазов и др., 2016a].

Что касается геофизических наблюдений, то на существенное повышение их эффективности направлены другие наши запатентованные аппаратные разработки, описанные в публикациях [Таймазов, 2009a; 2009b; 2009c; 2009d; 2010a; 2010b; 2011a; 2011b].

6. Выводы

1. Совместная обработка предложенными нами инновационными методами данных наблюдений региональной сейсмологической сети ДФ ФИЦ ЕГС РАН и сети Sev_Kavkaz_SW на территории Восточного Кавказа, а также данных, полученных в других регионах мира с более плотными сетями, показывает целесообразность существенного увеличения количества стационарных сейсмических станций в регионе ВК для уменьшения представительного энергетического класса.

2. Обоснована целесообразность возобновления наблюдений неприливных изменений силы тяжести (НИСТ) на территории Восточного Кавказа с использованием современных высокоточных гравиметров, например, CG-5 Autograv фирмы Scintrex (Канада). При этом точность определения НИСТ может быть доведена

до $\sim 0.001-0.002$ мГал, что существенно повысит вероятность выявления гравитационных предвестников землетрясений, являющихся самыми однозначно интерпретируемыми из всех.

3. По наблюдениям на территории Восточного Кавказа показано, что составляющие вектора геомагнитного поля во много раз более чувствительны к геодеформационным процессам, чем модуль полного вектора. В связи с этим обоснована актуальность проведения дальнейших наблюдений трёхкомпонентными магнитометрами как в стационарном режиме, так и путём периодического «опроса» закреплённых на полигоне пунктов наблюдений.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

Асманов О.А., Адилев З.А. Опыт инструментального изучения землетрясений территории Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. — 2020. — № 3 (82). — С. 31–35. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-82-3-31-35. — EDN: WLQRKQ

Асманов О.А., Левкович Р.А. История развития инструментальных наблюдений в Дагестане // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (76). — С. 76–80. DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-1-76-80. — EDN: QXIKKE

Любушин А.А., Малугин В.А. Статистический анализ отклика уровня подземных вод на вариации атмосферного давления // Физика Земли. — 1993. — № 12. — С. 74–80.

Любушин А.А., Лежнев М.Ю. Анализ изменчивости функции отклика уровня подземных вод на баровариации на Южных Курилах (о. Шикотан) // Физика Земли. — 1995. — № 8. — С. 79–84.

Магомед-Касумов М.Г., Таймазов Д.Г., Султанахмедов М.С., Шарпудинов Т.И. Программа для выявления пространственно-временных вариаций параметров периодических составляющих в сейсмическом процессе / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662717 от 07.07.2022.

Магомедов Х.Д., Таймазов Д.Г., Адилев З.А., Магомед-Касумов М.Г. Результаты комплексных

- сейсмологических, геофизических и геохимических исследований на территории Республики Дагестан в 2016–2020 гг. // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 67–85. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.2.04. – EDN: EHGMTB
- Пугин А.М., Кузнецова Л.В. Устойчивый метод анализа земных приливов – метод с предварительным сжатием данных // Физика Земли. – 1992. – № 7. – С. 95–100.
- Саидов О.А. Вариации концентрации водорода в приземной атмосфере в связи с проявлением сейсмичности на Восточном Кавказе // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 76–83. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.2.07. – EDN: JCSQPI
- Саидов О.А., Таймазов Д.Г., Магомедов С.Р., Магомед-Касумов М.Г., Шарпудинов Т.И., Султанамедов М.С. Сопоставительный анализ геохимических временных рядов и сейсмического режима территории Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2020. – № 81. – С. 57–69. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-81-2-57-69. – EDN: HLPJGJ
- Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Предвестники сильных землетрясений на Камчатке по данным мониторинга сейсмических шумов // Вулканология и сейсмология. – 2008. – № 2. – С. 110–124. – EDN: IJMUIR
- Сулейманов А.И., Саидов О.А., Магомедов Б.А. Мониторинг геомагнитных полей в связи с техногенной сейсмичностью района водохранилища Чиркейской ГЭС // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2010. – № 56. – С. 217–225. – EDN: PXNCSD
- Таймазов Д.Г. О возможности повышения информативности гидрогеодинамических наблюдений на скважинах с отрицательными уровнями // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2006. – № 50. – С. 222–230. – EDN: PXMUEV
- Таймазов Д.Г. О возможности прогноза землетрясений по площадным наблюдениям высокочастотных сейсмических шумов // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2020. – № 4 (83). – С. 75–81. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-83-4-75-81. – EDN: JTBGRY
- Таймазов Д.Г. Способ определения изменений напряжённо-деформированного состояния земной коры / Патент на изобретение № 2316027. Бюл. № 3 от 27.01.2008. (а). – EDN: VYUOQE
- Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования землетрясений / Патент на изобретение № 2325673. Бюл. № 15 от 27.05.2008. (b). – EDN: ZJFAOD
- Таймазов Д.Г., Магомед-Касумов М.Г., Шарпудинов Т.И., Султанамедов М.С. Результаты об- работки температурных наблюдений в скважине вблизи Чиркейского гидроузла за 2009–2019 гг. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019а. – № 76. – С. 26–31. – EDN: YGSLTX
- Таймазов Д.Г., Магомед-Касумов М.Г., Шарпудинов Т.И., Султанамедов М.С. О суточной периодичности слабых землетрясений Восточного Кавказа // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019б. – № 77. – С. 86–94. – EDN: RBUSJQ
- Таймазов Д.Г., Сиражудинов М.М., Кадиев Р.И. Определитель параметров и координат деформационных аномалий в земной коре по площадным наблюдениям геополей / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016663005 от 28.11.2016. (а). – EDN: QMATWZ
- Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. О целесообразности возобновления повторных гравиметрических наблюдений в районе Сулакского каскада ГЭС в Дагестане // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2017. – № 68. – С. 79–83. – EDN: ZMRELZ
- Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. Способ прогнозирования тектонических землетрясений / Патент на изобретение № 2660771. Бюл. № 19. от 09.07.2018. (с). – EDN: GAKVQA
- Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. Способ реконструкции динамических процессов в земной коре по сейсмическим наблюдениям / Патент на изобретение № 2659452. Бюл. № 19. от 02.07.2018. (а). – EDN: RKELKX
- Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. Широкополосный резонансный сейсмоакустический приёмник / Патент на изобретение № 2660768. Бюл. № 19 от 09.07.2018. (b). – EDN: JSMMDU
- Таймазов Д.Г., Шарпудинов Т.И., Магомед-Касумов М.Г., Султанамедов М.С. Построитель передаточной функции между временными рядами по относительным амплитудам когерентных гармоник / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661714 от 18.10.2016. (b).
- Таймазов Д.Г., Шарпудинов Т.И., Магомед-Касумов М.Г., Султанамедов М.С., Таймазов М.Д. Реконструкция геодинамических процессов по сейсмическим наблюдениям / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018616052 от 22.05.2018. – EDN: FUANQU
- Dobrovolsky I.P. Gravitational precursors of a tectonic earthquake. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2005. – V. 41, N 4. – P. 273–278. – EDN: LJHFUH
- Taimazov D.G. A nonpendular gravitational variometer // *Seismic Instruments*. – 2010a. – V. 46. – P. 234–236. DOI: 10.3103/S0747923910030059

Taimazov D.G. On the possibility of constructing a multicomponent trench-type deformometric station for seismic forecasting // *Seismic Instruments*. – 2011a. – V. 47. – P. 24–29. DOI: 10.3103/S0747923911010154

Taimazov D.G. Precision wire extensometer for seismoprogностic observations // *Seismic Instruments*. – 2009a. – V. 45. – P. 78–82. DOI: 10.3103/S0747923909010137

Taimazov D.G. Stringed vertical gravimetric gradient meter // *Seismic Instruments*. – 2009d. – V. 45. – P. 115–118. DOI: 10.3103/S0747923909010204

Taimazov D.G. Three-fluid hydrostatic level // *Seismic Instruments*. – 2010b. – V. 46. – P. 75–77. DOI: 10.3103/S0747923910010081

Taimazov D.G. Two-coordinate string tiltmeter // *Seismic Instruments*. – 2011b. – V. 47. – P. 103–105. DOI: 10.3103/S0747923911010166

Taimazov D.G. Ways to improve metrological and operational characteristics of liquid gravimeters // *Seismic Instruments*. – 2009b. – V. 45. – P. 110–114. DOI: 10.3103/S0747923909010198

Taimazov D.G. Wide-range displacement capacitance transducer for precision instruments and positioning systems // *Seismic Instruments*. – 2009c. – V. 45. – P. 75–77. DOI: 10.3103/S0747923909010125

Сведения об авторах

Магомедов Хаскил Джарулаевич, директор Дагестанского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ДФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Махачкала, Россия. E-mail: haskil@dbgsras.ru

Таймазов Джамалудин Гаджиевич, канд. физ.-мат. наук, зав. сектором ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия; ст. науч. сотр. Института геологии – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ ДФИЦ РАН), г. Махачкала, Россия. E-mail: dtaim@dbgsras.ru

Адилов Зарахман Ашуралиевич, зав. отделом ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия. E-mail: adilov79@mail.ru

Магомед-Касумов Магомедрасул Грозбекович, канд. физ.-мат. наук, уч. секретарь ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия; ст. науч. сотр. отдела математики и информатики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ДФИЦ РАН), г. Махачкала, Россия. E-mail: rasuldev@gmail.com

Асманов Осман Абдуллаевич, канд. физ.-мат. наук, науч. редактор ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия. Email: info@dbgsras.ru

Мирзалиев Мирзали Мустафаевич, канд. геол.-мин. наук, зав. отделом сейсмического мониторинга ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия. Email: info@dbgsras.ru

Гаджиев Амир Магомедович, мл. науч. сотр. ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия. Email: aamir-gadji@mail.ru

Regional network of seismological observations on the territory of Dagestan: state and development prospects

© 2022 Kh.D. Magomedov¹, D.G. Taimazov^{1,2}, Z.A. Adilov¹,
M.G. Magomed-Kasumov^{1,3}, O.A. Asmanov¹, M.M. Mirzaliev¹, A.M. Gadjiev¹

¹DB GS RAS, Makhachkala, Russia; ²IG DFRC RAS, Makhachkala, Russia;

³DFRC RAS, Makhachkala, Russia

Received August 1, 2022

Abstract The territory of Dagestan is one of the seismically active regions of the European part of Russia. Both in the historical past and in recent years, strong and destructive earthquakes have occurred in this region. For example, the area of the Sulak cascade of hydroelectric power stations is one of the most dangerous in Dagestan, both in seismic and environmental terms. Over the past 53 years, there have been 4 strong earthquakes with devastating consequences (1970, 1974, 1975, 1999 years). The most powerful of them was the earthquake of May 14, 1970 with $M=6.6$. The epicenter of the main shock was at a distance of 15–20 km from the Chirkey hydroelectric power station dam, which was then under construction. This implies the relevance of a detailed study of the seismic regime features in Dagestan and adjacent areas. The article discusses the unified integrated system of seismological observations functioning in the Dagestan Branch of the GS RAS (DB) and provides information about the equipment for these observations. Some priority results obtained using innovative data processing methods developed in the DB are described. The results obtained according to the catalog of the Eastern Caucasus are compared with the results for other regions of the world with denser networks of seismic stations. On this basis, arguments are presented in favor of the need for a significant condensing of the region seismic network. To increase the information content of geophysical observations, the implementation and use of our patented hardware developments, including a gravity gradiometer and a variometer, an inclinometer, a hydraulic level, an extensometer, etc., are proposed. In particular, the expediency of implementing a broadband resonant seismoacoustic receiver developed in the DB is shown. It is proposed to supplement seismic stations with such receivers to increase their information content.

Keywords Seismic activity, regional network, digital seismic station, geochemical and hydrogeodynamic observations, earthquake precursors, data processing methods, geophysical equipment.

For citation Magomedov, Kh.D., Taimazov, D.G., Adilov, Z.A., Magomed-Kasumov, M.G., Asmanov, O.A., Mirzaliev, M.M., & Gadjiev, A.M. (2022). [Regional network of seismological observations on the territory of Dagestan: state and development prospects]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 4(4), 79-96. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2022.4.06. EDN: BCCXQL.

References

- Asmanov, O.A., & Adilov, Z.A. (2020). [Experience of instrumental study of earthquakes in the territory of Dagestan]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 3(82), 31-35. (In Russ.). DOI: 10.33580/2541-9684-2020-82-3-31-35. EDN: WLQRKQ
- Asmanov, O.A., & Levkovich, R.A. (2019). [The history of the development of instrumental observations in Dagestan]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 1(76), 76-80. (In Russ.). DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-1-76-80. EDN: QXIKKE
- Dobrovolsky, I.P. (2005). Gravitational precursors of a tectonic earthquake. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 41(4), 273-278. – EDN: LJHFUH
- Lyubushin, A.A., & Lezhnev, M.U. (1995). [Analysis of the variability of the groundwater level response function to barovariations in the South Kuriles (Shikotan Island)]. *Fizika Zemli* [Physics of the Solid Earth], 8, 79-84. (In Russ.).
- Lyubushin, A.A., & Malugin, V.A. (1993). [Statistical Analysis of the Groundwater Level Response Function to Variations in Atmospheric Pressure]. *Fizika Zemli* [Physics of the Solid Earth], 12, 74-80. (In Russ.).
- Magomed-Kasumov, M.G., Taimazov, D.G., Sul-tanakhmedov, M.S., & Sharapudinov, T.I. (2022).

- [A program for identifying spatio-temporal variations in the parameters of periodic components in a seismic process]. Certificate RF of state registration of a computer program No. 2022662717. (In Russ.).
- Magomedov, Kh.D., Taimazov, D.G., Adilov, Z.A., & Magomed-Kasumov, M.G. (2021). [Results of complex seismological, geophysical and geochemical researches on the territory of the Republic of Dagestan in 2016-2020]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(2), 67-85. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2021.2.04. EDN: EHGMTB
- Pugin, A.M., & Kuznetsova, L.V. (1992). [Robust earth tide analysis method - precompressed method]. *Fizika Zemli* [Physics of the Solid Earth], 7, 95-100. (In Russ.).
- Saidov, O.A. (2020). [Variations of hydrogen in the surface-atmosphere in connection with the manifestation of seismic activity in the Eastern Caucasus]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(2), 75-83. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2020.2.07. EDN: JCJQPI
- Saidov, O.A., Taimazov, D.G., Magomedov, S.R., Magomed-Kasumov, M.G., Sharapudinov, T.I., & Sultanakhmedov, M.S. (2020). [Comparative analysis of geochemical time series and seismic regime of the territory of Dagestan]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 2(81), 57-69. (In Russ.). DOI: 10.33580/2541-9684-2020-81-2-57-69. EDN: HLPJGJ
- Saltykov, V.A., Kugayenko, Yu.A., Sinitsyn, V.I., & Chebrov, V.N. (2008). [Strong earthquakes precursors in Kamchatka by seismic noise monitoring data]. *Vulkanologiya i seysmologiya* [Volcanology and Seismology], 2, 110-124. (In Russ.). EDN: IJMUIR
- Suleymanov, A.I., Saidov, O.A., & Magomedov, B.A. (2010). [Monitoring of geomagnetic fields in connection with technogenic seismicity of the Chirkey hydro-power station reservoir area]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 56, 217-225. (In Russ.). EDN: PXNCSD
- Taimazov, D.G. (2006). [On the possibility of increasing the information value of hydrogeodynamic observations in wells with negative levels]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 50, 222-230. (In Russ.). EDN: PXYEYV
- Taimazov, D.G. (2008a). [Method for determining changes in the stress-strain state of the earth's crust]. Patent RF No. 2316027. (In Russ.). EDN: VYUOQE
- Taimazov, D.G. (2008b). [Earthquake prediction method]. Patent RF No. 2325673. (In Russ.). EDN: ZJFAOD
- Taimazov, D.G. (2009a). Precision wire extensometer for seismoprostnastic observations. *Seismic Instruments*, 45, 78-82. DOI: 10.3103/S0747923909010137
- Taimazov, D.G. (2009b). Ways to improve metrological and operational characteristics of liquid gravimeters. *Seismic Instruments*, 45, 110-114. DOI: 10.3103/S0747923909010198
- Taimazov, D.G. (2009c). Wide-range displacement capacitance transducer for precision instruments and positioning systems. *Seismic Instruments*, 45, 75-77. DOI: 10.3103/S0747923909010125
- Taimazov, D.G. (2009d). Stringed vertical gravimetric gradient meter. *Seismic Instruments*, 45, 115-118. DOI: 10.3103/S0747923909010204
- Taimazov, D.G. (2010a). A nonpendular gravitational variometer. *Seismic Instruments*, 46, 234-236. DOI: 10.3103/S0747923910030059
- Taimazov, D.G. (2010b). Three-fluid hydrostatic level. *Seismic Instruments*, 46, 75-77. DOI: 10.3103/S0747923910010081
- Taimazov, D.G. (2011a). On the possibility of constructing a multicomponent trench-type deformometric station for seismic forecasting. *Seismic Instruments*, 47, 24-29. DOI: 10.3103/S0747923911010154
- Taimazov, D.G. (2011b). Two-coordinate string tiltmeter. *Seismic Instruments*, 47, 103-105. DOI: 10.3103/S0747923911010166
- Taimazov, D.G. (2020). [On the possibility of predicting earthquakes from repeated areal observations of high-frequency seismic noises]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 83, 75-81. (In Russ.). DOI: 10.33580/2541-9684-2020-83-4-75-81. EDN: JTBGPY
- Taimazov, D.G., & Taimazov, M.D. (2018a). [Method for reconstructing dynamic processes in the earth's crust based on seismic observations]. Patent RF No. 2659452. (In Russ.).
- Taimazov, D.G., & Taimazov, M.D. (2018b). [Broadband resonant seismoacoustic receiver]. Patent RF No. 2660768. (In Russ.).
- Taimazov, D.G., & Taimazov, M.D. (2018c). [Method for predicting tectonic earthquakes]. Patent RF No. 2660771. (In Russ.).
- Taimazov, D.G., Sharapudinov, T.I., Magomed-Kasumov, M.G., & Sultanakhmedov, M.S. (2016b). [Construction the transfer function between time series based on the relative amplitudes of coherent harmonics]. Certificate RF of state registration of a computer program No. 2016661714. (In Russ.).
- Taimazov, D.G., Sharapudinov, T.I., Magomed-Kasumov, M.G., & Sultanakhmedov, M.S. (2019a). [The results of processing temperature observations in a well near the Chirkey hydroelectric complex for 2009-2019]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 76, 26-31. (In Russ.).
- Taimazov, D.G., Sharapudinov, T.I., Magomed-Kasumov, M.G., & Sultanakhmedov, M.S. (2019b). [On the diurnal periodicity of weak earthquakes in the Eastern Caucasus]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN*

[Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 77, 86-94. (In Russ.).

Taimazov, D.G., Sharapudinov, T.I., Magomed-Kasumov, M.G., Sultanakhmedov, M.S., & Taimazov, M.D. (2018). [Reconstruction of geodynamic processes based on seismic observations]. Certificate RF of state registration of a computer program No. 2018616052. (In Russ.).

Taimazov, D.G., Sirazhudinov, M.M., & Kadiev, R.I. (2016a). [Detector of deformation anomalies parame-

ters in the earth's crust based on areal observations of geofields]. Certificate RF of state registration of a computer program No. 2016663005. (In Russ.).

Taimazov, D.G., & Taimazov, M.D. (2017). [On the expediency of resuming repeated gravimetric observations in the area of the Sulak cascade of hydroelectric power stations in Dagestan]. *Trudy Instituta Geologii DFITs RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of DFRC RAS], 68, 79-83. (In Russ.).

Information about authors

Magomedov Khaskil Dzharulaevich, Director of the Dagestan Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (DB GS RAS), Makhachkala, Russia. E-mail: haskil@dbgsras.ru

Taimazov Dzhamaludin Gadzhievich, PhD, Head of the Sector of the DB GS RAS, Makhachkala, Russia; Senior Researcher of the Institute of Geology of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG DFRC RAS), Makhachkala, Russia. E-mail: dtaim@dbgsras.ru

Adilov Zarakhman Ashuralievich, Head of the Department of the DB GS RAS, Makhachkala, Russia. E-mail: adilov79@mail.ru

Magomed-Kasumov Magomedrasul Grozbekovich, PhD, Scientific Secretary of the DB GS RAS, Makhachkala, Russia; Senior Researcher of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (DFRC RAS), Makhachkala, Russia. E-mail: rasuldev@gmail.com

Asmanov Osman Abdullaevich, PhD, Scientific Editor of the DB GS RAS, Makhachkala, Russia. Email: info@dbgsras.ru

Mirzaliiev Mirzali Mustafaevich, PhD, Head of the Department of the DB GS RAS, Makhachkala, Russia. Email: info@dbgsras.ru

Gadjiev Amir Magomedovich, Junior Researcher of the DB GS RAS, Makhachkala, Russia. Email: aamir-gadji@mail.ru