

ВОЗОБНОВЛЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СЕТИ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

¹Передерин В.П., ¹Крупенникова И.С., ¹Мокрова А.Н., ¹Розенберг Н.К., ¹Передерин Ф.В.,
¹Гусева Т.В., ²Булаева Н.М., ³Магомедов Х.Д.

¹ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук»,
123242, Москва, Россия

²ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов»,
367027, Махачкала, Россия

³Дагестанский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия
e-mail: ik@ifz.ru

Работа посвящена возобновлению наблюдений на геодинимической сети республики Дагестан, необходимость в которых вызвана существенным недостатком данных по координатам и скоростям современных движений земной коры сейсмически активного региона, с интенсивным развитием городских агломераций и туризма в восточной части Кавказа. В 2024 году были возобновлены работы по организации геодезического мониторинга с помощью ГНСС в Республике Дагестан, которые не проводились с 2008 года. Проведено обследование пунктов, на четырех из них выполнены наблюдения ГНСС. В 2025 году проведены повторные измерения и оборудованы пункты наблюдений на четырех сейсмостанциях ДФ ФИЦ ЕГС РАН. Временной ход координат, полученных из измерений 2003-2007 гг., дополненный данными 2024-2025 гг., показывает хорошее качество и преемственность данных наблюдений. Работа по возобновлению наблюдений ГНСС на геодинимической сети Дагестана продолжит мониторинг временного хода координат пунктов и дает возможность более детально исследовать сложную картину деформаций сейсмически активного региона.

Ключевые слова: Северный Кавказ, Дагестан, мониторинг, ГНСС, GPS, ГЛОНАСС, скорости движения, деформации.

RESUMPTION OF SATELLITE OBSERVATIONS IN THE GEODYNAMIC NETWORK IN THE REPUBLIC OF DAGESTAN

¹Perederin V.P., ¹Krupennikova I.S., ¹Mokrova A.N., ¹Rozenberg N.K., ¹Perederin F.V., ¹Guseva T.V.,
²Bulaeva N.M., ³Magomedov Kh.D.

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,
123242, Moscow, Russia

²LLC «Center of the Conjugated Monitoring of Environment and Natural Resources»,
367027, Makhachkala, Russia

³Dagestan branch of Federal Research Center Unified Geophysical Survey of Russian Academy
of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

This work is devoted to resuming observations on the geodynamic network of the Republic of Dagestan, a necessity arising from a significant lack of data on the coordinates and velocities of recent crustal movements in a seismically active region, with the intensive development of urban agglomerations and tourism in the eastern Caucasus. In 2024, we resumed organizing works on geodetic monitoring using GNSS in the Republic of Dagestan, which had not been carried out since 2008, was resumed. A survey of the sites was conducted, and GNSS observations were conducted at four of them. In 2025, repeat measurements were conducted and observation sites were equipped at four seismic stations of the Far Eastern Branch of the Federal Research Center «Unified Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences». The time series of coordinates of 2003-2007, supplemented by data from 2024-2025, demonstrates the good quality and succession of the observation data. Work on resumption GNSS observations on the Dagestan geodynamic network will continue monitoring the temporal evolution of coordinates and provide an opportunity to study the complex of deformation pattern of the seismically active region more detail.

Keywords: North Caucasus, Dagestan, monitoring, GNSS, GPS, GLONASS, velocity, deformation.

Применение методов космической геодезии в задачах современной геодинимики позволяет изучать не только поверхностные, но и глубинные геодинимические процессы на основе наблюдений смещений земной коры. Целью спутниковых измерений является уточнение количественных характеристик движений и деформаций отдельных блоков земной коры, а также изучение эволюции деформацион-

ных процессов в сейсмоактивных густонаселенных районах с ответственными инженерными сооружениями. Для этого требуется проведение повторных спутниковых наблюдений на сети закрепленных пунктов на протяжении нескольких лет в одно и то же время года для фильтрации влияния сезонных колебаний. Накопленные объемы измерительной спутниковой геодезической информации позволяют

выделять и анализировать не только интенсивные межплитовые деформации, но и значительно менее интенсивные внутриплитовые смещения, что особенно актуально в районах с блоковой структурой земной коры.

Одним из объектов исследований с помощью ГНСС (Глобальных Навигационных Спутниковых Систем) является Северный Кавказ, характеризующийся высокой сейсмичностью (рис. 1), представляющей опасность для народонаселения, гражданской и промышленной инфраструктуры. Первые спутниковые наблюдения на Кавказе были проведены в 1991 году после разрушительного Рачинского землетрясения (апрель 1991 г., $M_w=6.9$) [1-3].

За прошедшие десятилетия Крымско-Северокавказская сеть была расширена и модифицирована. Наблюдения на пунктах сети проводятся регулярно, с интервалом в два года. При их обработке исполь-

зуются также данные ближайших пунктов международной сети IGS и Российской сети ФАГС (рис. 2).

Геодезические спутниковые измерения в Дагестане начались в 1996 г. на геодинамической сети в окрестностях Чиркейской ГЭС с целью организации контроля развития деформационных процессов в горных массивах, окружающих Чиркейский гидротехнический узел, связанных с изменением сейсмического режима [4,5]. Измерения проводились на 9-11 пунктах плано-высотной геодезической сети Чиркейского гидроузла и на двух специально заложённых пунктах ZURA и DUBK сотрудниками ИФЗ РАН совместно с сотрудниками опытно-методической сейсмической партии (ОМСП) АН Дагестана.

Дальнейшее развитие системы деформационных исследований с применением спутниковых технологий на территории Дагестана продолжилось в 2002 г., когда помимо наблюдательной сети GPS

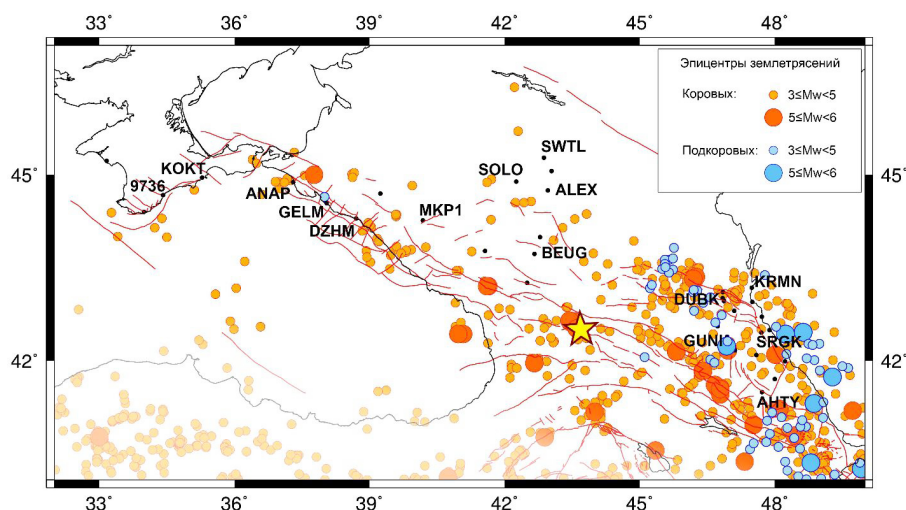


Рис. 1. Эпицентры землетрясений за 2000–2025 гг. для Крымско-Северокавказского региона. Звездочкой отмечено Рачинское землетрясение 1991 г.

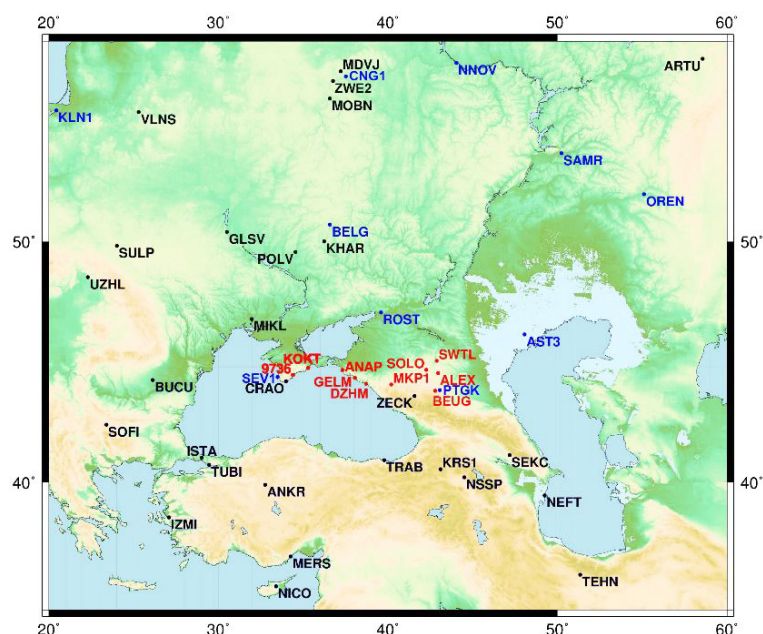


Рис. 2. Расположение пунктов наблюдений ГНСС: черные – IGS; синие – ФАГС; красные – ИФЗ РАН

Чиркейского гидроузла наблюдения стали проводиться на новом пункте в г. Махачкала (МАНА).

Горная часть Дагестана имеет сложное строение, состоит из нескольких структурно-тектонических зон, уступообразно вздымающихся от севера к югу. В этом же направлении наблюдается усложнение складчатости, увеличение количества и амплитуд продольных разрывов [6,7]. Тектонические блоки испытывают разные по скорости и направлению движения, кроме того, восточная часть Кавказа наиболее сейсмически активна (рис. 1). Именно здесь фиксируются глубокие (подкоровые) землетрясения.

Исходя из вышесказанного, на исследуемой территории было целесообразно разместить сеть пунктов GPS, главным образом, в горной части Дагестана. В 2003 году совместно с ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов» (г. Махачкала) и Дагестанским филиалом геофизической службы РАН заложены 14 пунктов геодинимической сети по всей республике (рис. 3а) [6,7]. Спутниковые наблюдения на ней проводились регулярно с 2003 по 2007 год. После 2007 года они были прекращены.

В 2008 году организованы наблюдения на сейсмомостанции «Караман» Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН в районе Махачкалы (пункт KRMN), продолжавшиеся по 2018 г.

Полученные в процессе наблюдений данные проходят обработку в программном комплексе Bernese, в результате чего определяются среднесуточные и средние на эпоху (цикл) измерений геоцентрические и геодезические координаты пунктов в координатной системе ITRF. Среднеквадратическая случайная ошибка определения плановых координат

нат в относительной системе отсчета с четырьмя опорными пунктами, принимаемыми за неподвижные, составляет в среднем 0.2 мм для контрольных пунктов IGS и 0.3-0.5 мм для определяемых.

На основе многолетнего временного ряда наблюдений, с привлечением данных сетей ФАГС и IGS, рассчитываются скорости смещения в разных системах отсчета и площадные деформации. На рис. 4 приведена карта площадных деформаций, рассчитанных по конечно-разностной схеме [8] для всего Крымско-Северокавказского региона, но без пунктов Дагестана, а также отдельно для геодинимической сети Дагестана на основе трех циклов наблюдений (2004-2007 гг.) и данных с пункта KRMN за 2012-2018 гг.

Для получения представления о горизонтальных движениях внутри региона выполнен перерасчет скоростей отдельных пунктов относительно ZECK (Зеленчукская обсерватория), принятого за неподвижный (красный кружок на рис. 4а).

В региональной системе отсчета средние значения скоростей Крымско-Северокавказского региона составляют 1-3 мм/год. В восточной части южные и северные пункты перемещаются навстречу друг другу со скоростями 2-4.8 мм/год, при этом пункты восточной части Кавказа демонстрируют север-северо-восточное направление движений (рис. 4а). В районе Ставропольского свода направления движений приобретают несколько хаотичный характер с преобладанием направления на запад – северо-запад, а скорости снижаются до 1.5-3 мм/год.

Деформационное поле в пределах Крымско-Северокавказского региона довольно однородное (рис. 4а). В основном, оно представлено чередующимися слабыми деформациями сжатия и

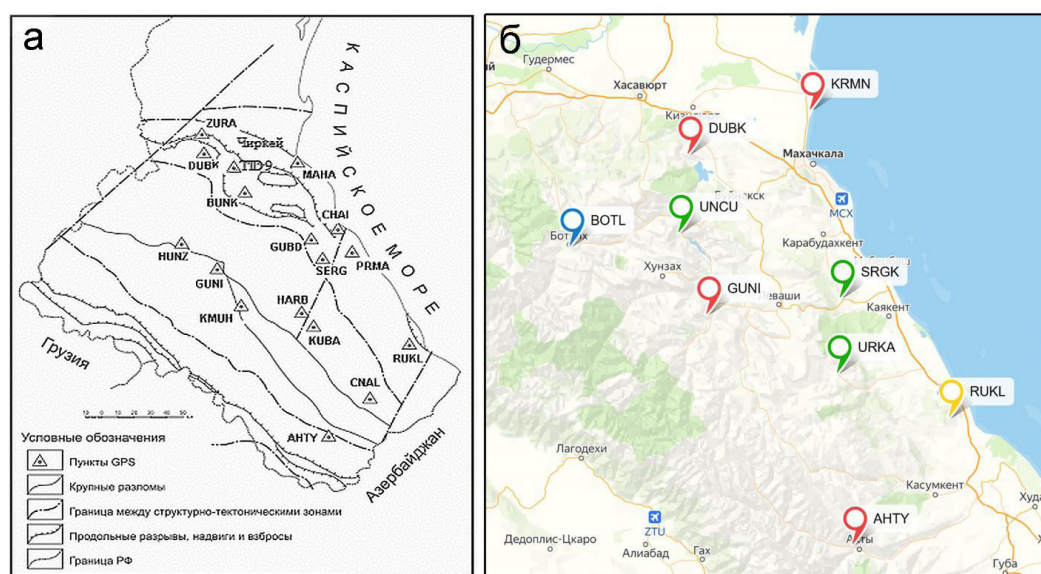


Рис. 3. Схема геодинимической сети республики Дагестан: а) – 2004 г.; б) – 2025 год. Красным цветом обозначены пункты, на которых проведен второй цикл наблюдений ГНСС с 2024 года, желтым – наблюдения проведены впервые с 2007 года, зеленым – вновь заложенные пункты, на которых проведен исходный цикл наблюдений. Синим обозначена станция, на которой в будущем планируется установить пункт наблюдений

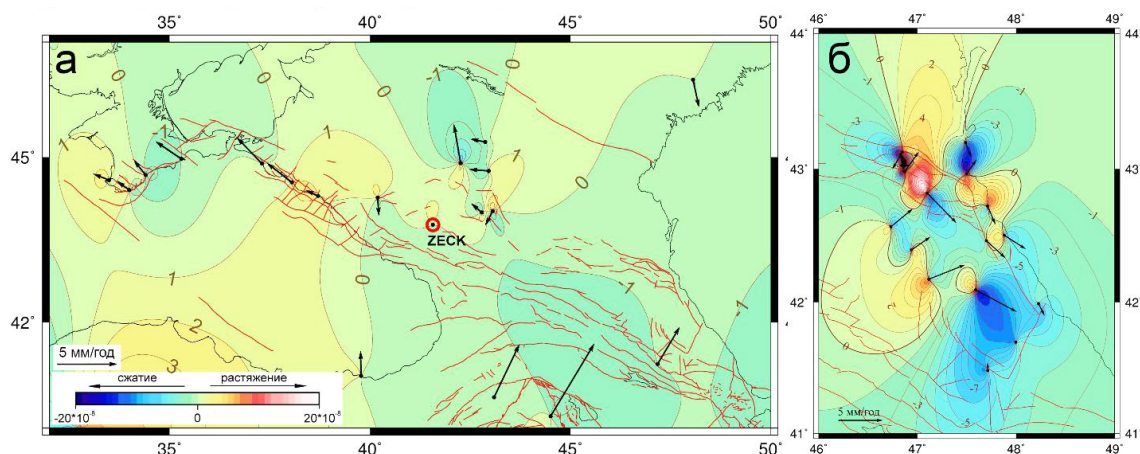


Рис. 4. Карта площадных деформаций для пунктов: Крымско-Северокавказской сети (а) и Дагестанской сети (б). Стрелками показаны скорости смещения пунктов в региональной системе отсчета относительно пункта ZECK (на карте (а) выделен красным кружком), красными линиями показаны основные разрывные нарушения

растяжения со значениями $\pm 2 \times 10^{-8}$ в год. Большая часть Северного Кавказа (восточная и центральная) находится в условиях сжатия, а западная его часть характеризуется растяжением [9,10].

Дагестанский регион попадает в зону сжатия, но в его пределах деформации имеют более выраженный характер со значениями деформаций сжатия – растяжения на порядок выше (рис. 4б). Скорости горизонтального движения в региональной системе отсчета имеют преимущественно юго-восточное направления со средними значениями 2.4 мм/год. Участки повышенных значений деформаций сжатия и растяжения, возможно, обусловлены воздействием внутренних локальных факторов, связанных со сложной блоковой структурой региона.

Три цикла измерений, на основе которых проводился анализ геодинамической обстановки Дагестана, является необходимым минимумом для такого рода построений, но недостаточным для точной оценки геодинамической обстановки исследуемого региона. Таким образом, в связи с существенным недостатком данных по координатам и скоростям современных движений земной коры (СДЗК) сейсмически активного региона, с интенсивным развитием городских агломераций и туризма в восточной части Кавказа, в 2024 году после длительного перерыва принято решение о возобновлении геодинамического мониторинга с помощью ГНСС в Республике Дагестан.

При содействии Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН были обследованы несколько пунктов, на которых проводились наблюдения в 2003-2007 гг., на предмет сохранности и возможности возобновления наблюдений ГНСС, и проведены измерения продолжительностью трое суток на трех из них – АНТУ, GUNI, DUBK. На пункте KRMN, используемом в качестве базового, продолжительность наблюдений составила четверо суток. Также проведен осмотр сейсмостанций ДФ ФИЦ ЕГС РАН «Дербент», «Гуниб», «Сергокала», «Уркарах» и

«Унцукуль» с целью определения возможности закладки новых пунктов.

В 2025 году работа по развитию геодинамической сети Республики Дагестан была продолжена. Оборудованы пункты наблюдений ГНСС на сейсмостанциях «Унцукуль» (UNCU), «Уркарах» (URKA), «Сергокала» (SRGK) и выполнен исходный цикл измерений. Проведено обследование и выполнены наблюдения ГНСС на пункте RUKL. Проведены повторные наблюдения на пунктах АНТУ, GUNI, DUBK (рис. 3б). На пункте KRMN наблюдения продолжались на протяжении всего периода полевых работ (22 суток).

В дальнейшем сеть наблюдений в Республике Дагестан планируется расширить и усовершенствовать систему измерений. В рамках работ обследована сейсмостанция «Ботлих» с целью организации наблюдений ГНСС.

В период полевых работ запись данных ГНСС проводилась с помощью двухчастотных двухсистемных геодезических спутниковых приемников Javad Maxor и Javad Alpha и антенн RingAnt G3T. На четырех пунктах (DUBK, АНТУ, GUNI, RUKL) антенны устанавливались на штативах (рис. 5а), еще на четырех пунктах (KRMN, UNCU, SRGK, URKA) с помощью принудительного центрирования на жестком металлическом креплении (рис. 5б). Спутниковые наблюдения проводились в статическом режиме сеансами 1-3 суток. Запись информации со спутников навигационных систем GPS и ГЛОНАСС велась каждые 30 секунд.

Качество данных, полученных в 2025 г., подтверждается графиками временного хода координат для четырех пунктов, на которых проведены повторные наблюдения. На графиках (рис. 6) приведены временные ряды изменения координатных компонент (E, N) для трех пунктов, измерения на которых проводились с 2003 по 2007 гг. (АНТУ, GUNI, DUBK) и возобновлены в 2024 г., и пункта KRMN, на котором перерыв составил с 2018 по 2024 гг.



Рис. 5. Установка антенны ГНСС на пункте наблюдений: (а) на штативе (АНТУ), (б) с помощью принудительного центрирования (UNCU)

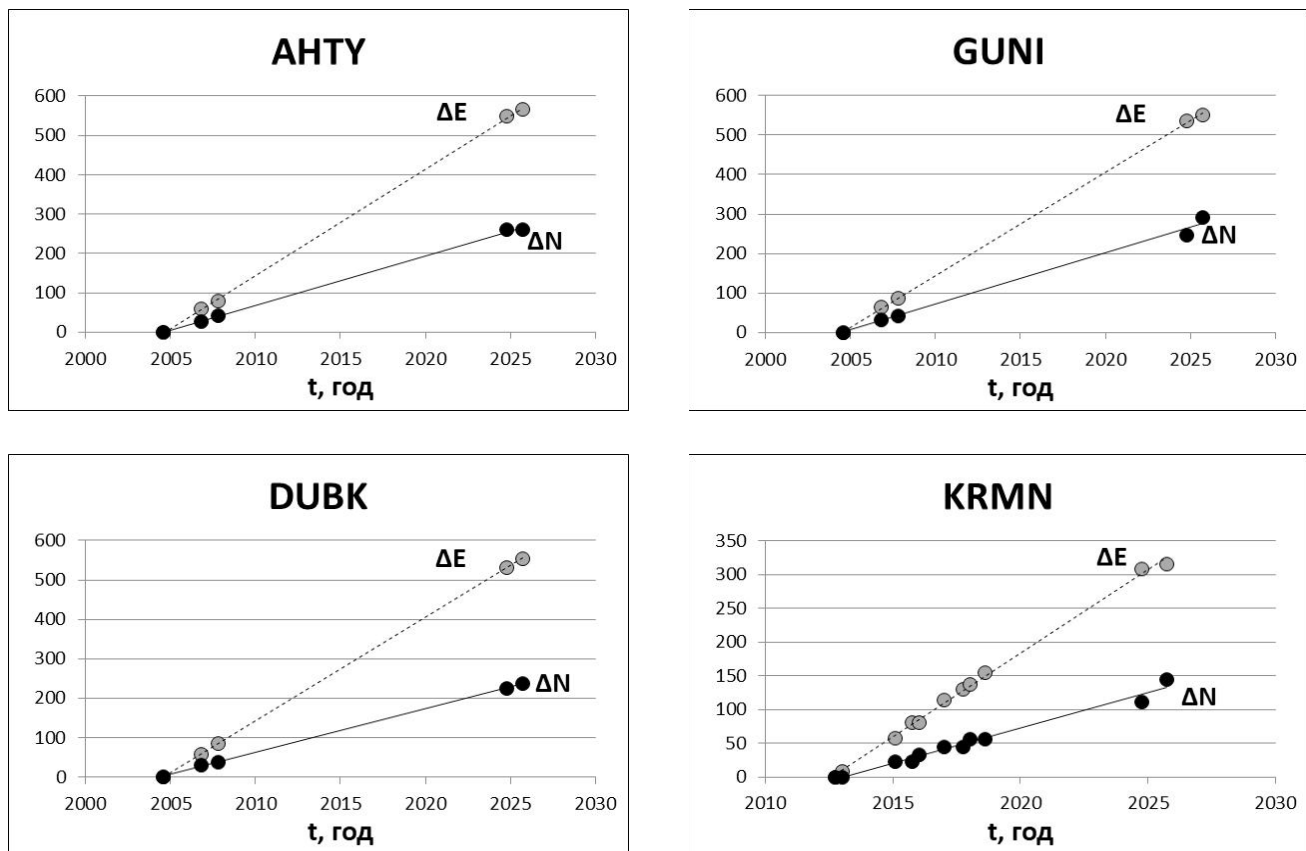


Рис. 6. Графики временного хода координат пунктов геодезической сети Республики Дагестан

Выводы

Мониторинг текущего развития скоростей горизонтальных движений и площадных деформаций Северного Кавказа является необходимым элементом геодезических исследований региона.

После длительного перерыва в 2024 г. начались работы по воссозданию Дагестанской геодезической сети. На сохранившихся пунктах АНТУ, GUNI, DUBK, KRMN были проведены первые наблюдения после семнадцатилетнего перерыва. В 2025 г. были проведены очередные наблюдения ГНСС и закладка на территориях сейсмостанций новых пунктов (UNCU, URKA, SRGK) для расширения Дагестан-

ской геодезической сети.

На территории Дагестана на данный момент отсутствуют пункты постоянных наблюдений IGS или ФАГС. Проведение регулярных наблюдений и восстановление сети – необходимая мера для получения данных о скоростях движения пунктов на миллиметровом уровне точности в наиболее сейсмоактивном и сложном районе Северного Кавказа.

Работа по возобновлению наблюдений на геодезической сети Республики Дагестан продолжит мониторинг СДЗК и актуализирует данные временного хода координат пунктов и расширит область с измеренными с миллиметровой точностью

скоростями смещений земной поверхности, что, в свою очередь, даст возможность более детально

исследовать сложную картину деформаций этого сейсмически активного региона.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИФЗ РАН.

Список литературы

1. Reilinger R.E., Hamburger M.W., Prilepin M.T., Guseva T.V. Epoch Geodynamic GPS Measurement Across the Caucasus Collision zone (abstract), AGU. Fall Meeting. Program. Dec. 9-13, 1991. San-Francisco. California. 1991. Pp. 112.
2. Reilinger R., McClusky S., Souter B., Hamburger M., Prilepin M., Mishin A., Guseva T., Balassanian S. Preliminary estimates of plate convergence in the Caucasus collision zone from global positioning system measurements. *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 24. No. 14. Pp. 1815-1818.
3. Reilinger R., McClusky S., Vernant Ph., Lawrence Sh., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sark K., ArRajehi A., Paradissis D., AlAydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitritsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. Pp. B05411.
4. Baranova S., Guseva T., Kurakhmayev A., Rosenberg N. Current movements in the region of Chirkey hydroelectric Station. Proceedings of the Ninth International Symposium on Crustal Movements. November 14-19, 1998. Vol. II. Cairo, Egypt. 2000. Pp. 547-561.
5. Розенберг Н.К., Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Передерин В.П. Деформационный мониторинг разномасштабных структур на Северном Кавказе // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы третьей молодежной тектонофизической школы-семинара. 14-18 октября 2013 г. Т. 1. С. 290-297.
6. Булаева Н.М., Галаганов О.Н. Спутниковый мониторинг современных геодинамических движений на территории Дагестана // Мониторинг. Наука и технологии. 2010. №1(2). С. 27-35.
7. Булаева Н.М., Романов Н.Т., Халилов А.Г., Магомедов Б.И., Галаганов О.Н., Гусева Т.В. К созданию геодинамического мониторинга современных движений земной коры на территории Дагестана // Известия ДГПУ. Махачкала. 2008. №2. С. 88-91.
8. Shen Z., Wang M., Zeng Y., & Wang F. Optimal Interpolation of Spatially Discretized Geodetic Data. Bulletin of the Seismological Society of America. 2015. 105(4). Pp. 2117-2127. DOI:10.1785/0120140247.
9. Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н. Развитие деформационных процессов в Кавказском регионе по данным ГНСС измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Том 16. №5. С. 138-146.
10. Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мельник Г.Э., Мокрова А.Н., Передерин В.П., Передерин Ф.В., Розенберг Н.К. Сопоставление деформационного поля и сейсмического потока территорий Крыма и Северного Кавказа в зоне коллизии Евразийской и Аравийской литосферных плит // Мониторинг. Наука и технологии. 2023. №1. С. 6-15.

References

1. Reilinger R.E., Hamburger M.W., Prilepin M.T., Guseva T.V. Epoch Geodynamic GPS Measurement Across the Caucasus Collision zone (abstract), AGU. Fall Meeting. Program. Dec. 9-13, 1991. San-Francisco. California. 1991. Pp. 112.
2. Reilinger R., McClusky S., Souter B., Hamburger M., Prilepin M., Mishin A., Guseva T., Balassanian S. Preliminary estimates of plate convergence in the Caucasus collision zone from global positioning system measurements. *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 24. No. 14. Pp. 1815-1818.
3. Reilinger R., McClusky S., Vernant Ph., Lawrence Sh., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sark K., ArRajehi A., Paradissis D., AlAydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitritsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. Pp. B05411.
4. Baranova S., Guseva T., Kurakhmayev A., Rosenberg N. Current movements in the region of Chirkey hydroelectric Station. Proceedings of the Ninth International Symposium on Crustal Movements. November 14-19, 1998. Vol. II. Cairo, Egypt. 2000. Pp. 547-561.
5. Rozenberg N.K., Galaganov O.N., Guseva T.V., Perederin V.P. Deformation monitoring of multi-scale structures in the North Caucasus, Sovremennaya tektonofizika. *Metody i rezul'taty. Materialy molodezhnoy tektonofizicheskoy shkoly-seminara* [Modern tectonophysics. Methods and results. Proceedings of the third youth tectonophysical school-seminar]. October 14-18, 2013. V. 1. Pp. 290-297.
6. Bulaeva N.M., Galaganov O.N. Satellite monitoring of modern geodynamic movements on the territory of Daghestan. *Monitoring. Nauka i tekhnologii.* 2010. No. 1(2). Pp. 27-35.
7. Bulaeva N.M., Romanov N.T., Khalilov A.G., Magomedov B.I., Galaganov O.N., Guseva T.V. Towards the creation of geodynamic monitoring of modern movements of the earth's crust on the territory of Dagestan. *Izvestia DSPU. Makhachkala.* No. 2. 2008. Pp. 88-91.
8. Shen Z., Wang M., Zeng Y., & Wang F. Optimal Interpolation of Spatially Discretized Geodetic Data. Bulletin of the Seismological Society of America. 2015. 105(4). Pp. 2117-2127. DOI:10.1785/0120140247.
9. Guseva T.V., Krupennikova I.S., Mokrova A.N. Development of deformation processes in the Caucasus region according to GNSS measurements. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2019. V. 16. No. 5. Pp. 138-146.
10. Galaganov O.N., Guseva T.V., Krupennikova I.S., Mel'nik G.E., Mokrova A.N., Perederin V.P., Perederin F.V., Rozenberg N.K. Comparison of the deformation field and seismic flow of the Crimea and the North Caucasus territories of in the collision zone of the Eurasian and Arabian lithospheric plates. *Monitoring. Nauka i tekhnologii.* 2023. No. 1. Pp. 6-15.

**Сведения об авторах
Принадлежность к организации**

Передерин Виктор Петрович

старший научный сотрудник, лаборатория «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Крупенникова Ирина Сергеевна

научный сотрудник, лаборатория «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Мокрова Анна Николаевна

научный сотрудник, лаборатория «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Розенберг Наталия Климентьевна

научный сотрудник, лаборатория «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Передерин Фёдор Викторович

научный сотрудник лаборатории «Лаборатория аэрокосмической съёмки и геофизики ландшафта», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Гусева Тамара Вениаминовна

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Булаева Нуржаган Маисовна

доктор технических наук, действительный член Академии информатизации образования, генеральный директор ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов», 367027, Махачкала, Россия

Магомедов Хаскил Джарулаевич

кандидат технических наук, директор Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

**Information about authors
Affiliations**

Perederin Viktor Petrovich

Senior Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Krupennikova Irina Sergeevna

Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Mokrova Anna Nikolaevna

Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Rozenberg Nataliya Kliment'evna

Senior Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Perederin Feodor Viktorovich

Researcher of the Laboratory «Aerospace surveying and landscapes geophysics», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Guseva Tamara Veniaminovna

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Bulaeva Nurzhagan Maisovna

Doctor of Technical Sciences, Member of the Academy of Informatization of Education, General Director of the Center of the Dual Monitoring of Environment and Natural Resources, 367027, Makhachkala, Russia

Magomedov Khaskil Dzharulaevich

PhD in Technical Sciences, Director of Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Поступила в редакцию 04.02.2026 г.