

Валерий Николаевич Дробышев

Владикавказский научный центр Российской академии наук, Комплексный научно-исследовательский отдел, научный сотрудник, Россия, Владикавказ, e-mail: dvn4444@rambler.ru

Харитон Майорович Хубаев

Владикавказский научный центр Российской академии наук, Комплексный научно-исследовательский отдел, научный сотрудник, Россия, Владикавказ.

Хаджи-Мурат Заурбекович Торчинов

Владикавказский научный центр Российской академии наук, Отдел проектов и программ, главный специалист, Россия, Владикавказ.

Результаты исследования геодинамики осетинской части Центрального Кавказа на основе данных спутниковой геодезии и региональной сейсмичности

Аннотация. В результате проведенной работы была получена информация о геодинамическом поведении основных тектонических блоков Земной коры (ЗК) в границах Горной Осетии. Принимая полученную информацию как первичную, в рамках данной работы продемонстрировано несколько методических приемов по ее математической обработке. В частности, приемы интерполяции дискретно представленных данных позволили выполнить построение поля скоростей GPS-пунктов в условной системе координат, проведено сопоставление его с полем распределения сейсмической энергии по территории. Выявленные локальные деформационные аномалии ЗК логично вписываются в тектоническую схему региона, установленную независимыми геологическими и геофизическими методами.

Ключевые слова: геодинамика, спутниковая геодезия, Горная Осетия, GPS-пункт, тектоника, литосферные плиты, земная кора, Кавказ, землетрясение.

Valery N. Drobyshev

Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (VSC RAS), Researcher, Russia, Vladikavkaz, e-mail: dvn4444@rambler.ru

Khariton M. Khubaev

Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (VSC RAS), Researcher, Russia, Vladikavkaz.

Hadji-Murat Z. Torchinov

Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (VSC RAS), specialist, Russia, Vladikavkaz.

Results of the study of the geodynamics of the Ossetian part of the Central Caucasus based on satellite geodesy and regional seismicity data

Abstract. As a result of this work, information was obtained on the geodynamic behavior of the main tectonic blocks of the Earth's crust (EC) within the boundaries of Mountainous Ossetia. Taking the information received as a primary one, within the framework of this work, several methodological techniques for its mathematical processing have been demonstrated. In particular, the methods of interpolation of discretely presented data made it possible to construct the velocity field of GPS points in a conventional coordinate system, a comparison with the field of distribution of seismic energy over the territory was made. Identified local deformation of the EC anomalies logically fit into the tectonic scheme of the region, established by independent geological and geophysical methods.

Keywords: geodynamics, satellite geodesy, Mountain Ossetia, GPS point, tectonics, lithospheric plates, Earth's crust, Caucasus, earthquake.

КРАТКОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РЕГИОНА

Формирование Кавказского высокогорного орогенического пояса произошло в результате столкновения Аравийской эпибайкальской платформы с расположенной севернее Скифской эпигерцинской плитой. Этому событию предшествовала длительная и сложная история, в которой значительная роль принадлежит микроплитам и террейнам. По мнению Л.П. Зоненшайна и др. [1], до столкновения главных континентов основные тектонические события в Кавказском регионе происходили за счет аккреционной тектоники, то есть за счет поступления чужеродных блоков земной коры в зону субдукции активной окраины Евразии. Различия геологического строения этих блоков в определенной степени определили сложность тектоники Кавказского орогена, в том числе и Северной Осетии. В последней выделяются

фрагменты Предкавказской, Бечасынской и Восточно-Кавказской микроплит, прижатых к Восточно-Европейской плите в конце палеозоя, а также Южной микроплиты, примкнувшей в конце догерца [1; 2; 3; 4]. Тектонические структуры этих блоков после коллизии и последующей консолидации оказываются как бы впечатанными в геологическую структуру Восточно-Европейской плиты, но при этом сохраняется не только индивидуальность их геологического строения, но и в какой-то степени обособленность в дальнейших тектонических перестройках. Так, Предкавказская микроплита характеризуется преимущественным развитием передовых прогибов. В Северной Осетии в ее пределах располагаются Владикавказская котловина и Северная моноклираль. Бечасынская и Восточно-Кавказская микроплиты участвуют в формировании Центрального и Восточного Кавказа. В пределах Южной микроплиты расположены Казбеко-Лагодехская ступень южного склона и Чиаурская зона (рис. 1).

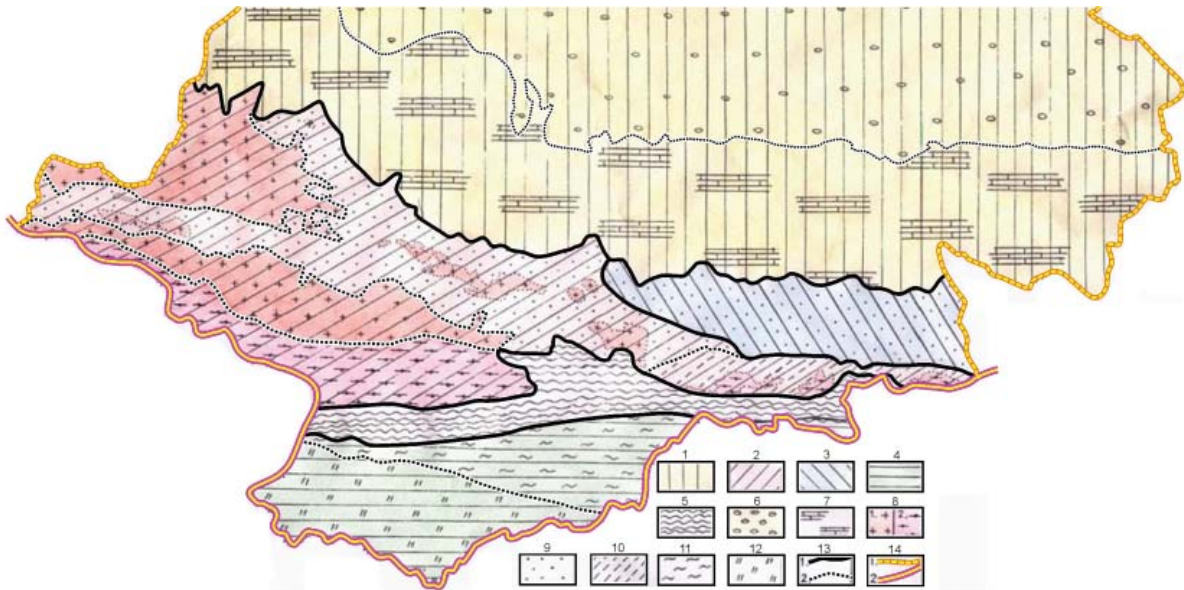


Рис. 1. Взаимоотношения микроплит и структурно-тектонических зон на территории Горной Осетии [5]

Условные обозначения. Микроплиты-террейны: 1 – Предкавказская; 2 – Бечасынская; 3 – Восточно-Кавказская; 4 – Закавказская. Структурно-тектонические зоны: 5 – Мамисон-Казбекская (реликтовый шов); 6 – Владикавказская котловина; 7 – Северная моноклираль; 8 – Главного хребта (1 – Магерская подзона, 2 – Кассарская подзона); 9 – Дигоро-Осетинская; 10 – Ардон-Дарьяльская; 11 – Южного склона; 12 – Чиаурская; 13 – контакты (1 – микроплит-террейнов, 2 – структурно-тектонических зон); 14 – границы.

В истории формирования Кавказского горного сооружения немалую роль сыграла крупная региональная структура, известная под названием Транскавказское поперечное поднятие (ТПП), протягивающееся в меридиональном направлении от Ставропольского поднятия Скифской плиты до Мардынского поднятия на севере Аравийской платформы. В Северной Осетии ТПП маркируется на западе территории исключительно высоким вздыманием и глубокой эрозионной расчлененностью кристаллического фундамента, обнаженного более чем на 80 % его площади. Эта поперечная зона характеризуется тенденцией к относительному поднятию всех пересекаемых ею продольных тектонических зон.

В литературе указывается, что активизация ТПП произошла в палеозое и аплит недр продолжается до настоящего времени. С этим поднятием совпадает область регионального максимума изостатических гравитационных аномалий большой интенсивности, и поднятию был свойственен мощный кайнозойский вулканизм. Установлено, что ТПП является северным продолжением Африкано-Аравийского рифтово-вулканического пояса и его наиболее высоко поднятая часть Центрального Кавказа может рассматриваться как участок пересечения Средиземноморского и северной части Африкано-Аравийского магматических поясов [5; 6; 7].

Предлагаемая схема тектонического районирования горной области Северной Осетии в основном повторяет ранее приводимые схемы и отражает с определенной полнотой типы складчато-разрывных нарушений, особенности формационного состава, процессов метаморфизма, а также сложность тектонической блокировки выделяемых тектонических

зон. На рассматриваемой территории выделяются с севера на юг следующие крупные структурно-тектонические образования: Владикавказская котловина, Северная моноклираль, Центральный Кавказ, Мамисон-Казбекский реликтовый рубец, зона Южного склона и Чиаурская зона.

Мамисон-Казбекский реликтовый рубец, или геосутура, маркирующая зону столкновения континентальных плит, свидетельствует о существовавшем ранее и замкнувшемся впоследствии морском бассейне. Зона имеет региональное кавказское значение и прослеживается между долинами р. Ингури на западе и р. Карачай на востоке, на протяжении около 550 км. Выполнен реликтовый рубец породами арнагской и циклаурской свит, превращенных в процессе субдукции океанического дна и особенно коллизии континентальных плит в хаотический комплекс, или микстит [5].

ГНСС-МОНИТОРИНГ ГЕОДИНАМИКИ ТЕРРИТОРИИ

Создание спутниковой глобальной системы позиционирования – GPS обусловило появление новой методологии – спутниковой геодезии, позволившей выполнять геодезические измерения на поверхности Земли с гораздо большей точностью, нежели традиционными наземными измерительными средствами. Новая технология очень скоро получила распространение в области решения самых разнообразных задач геодинамики на всех масштабных уровнях, начиная с измерения деформаций в пределах отдельных горных сооружений и до перемещений глобальных литосферных плит. Такие из-

мерения для геодинамических исследований были начаты в середине 80-х годов в Европе и США. В 1988 г. начались работы в странах Средиземноморья: Греции, Турции, Египте и Израиле. В 1991 г. методы спутниковой геодезии начали применяться для изучения современной геодинамики Кавказского горного сооружения [8; 9; 10; 11; 12].

В пределах Большого Кавказа, на территории Северной Осетии и Южной Осетии, силами нескольких российских научных организаций, таких как: Институт физики Земли РАН, Геофизической службы РАН, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Владикавказского научного центра РАН, проводятся систематические работы по изучению зон активных разломов, вулканических проявлений, геодинамических процессов с применением комплекса сейсмотектонических, геолого-геофизических и геодезических методов. В течение последнего десятилетия (2010–2020 гг.), наряду с созданием сети постоянно действующих GPS/ГЛОНАСС станций, развита сеть геодезических пунктов мобильных ГНСС-наблюдений (ГНСС – глобальная навигационная спутниковая система). На всех пунктах выполняются регулярные измерения сеансами по 3–4 дня с периодичностью один год с целью определения текущих координат и последующей оценки скоростей современных тектонических движений. Измерения на ГНСС-пунктах проводятся двухчастотными приемниками Javad/Legacy E L1/L2 GPS/GLONASS. Применяемая технология измерений и последующей обработки полученных данных позволяет получать результаты, соответствующие лучшим мировым стандартам [13; 14; 15].

В рамках выполнения предыдущих этапов НИР ВНЦ РАН в осетинской части Большого Кавказа, в соответствии с тектоническим строением исследуемого региона, была создана сеть геодезических пунктов, охватывающая основные геологические структуры и контактные зоны осетинской части Большого Кавказа для проведения ГНСС-мониторинга геодинамической активности территории [16; 17] (рис. 2).

Конкретно на локальном уровне в исследуемом регионе Горной Осетии выделяют ряд тектонических зон, разделенных крупными разломами:

- На самой южной окраине территории, в районе сочленения Оскрибо-Сачхерской зоны (ОС) с северо-восточной частью Дзирульского выступа кристаллического фундамента (ДМ) отмечается срыв и скольжение пород чехла в южном направлении вдоль поверхности фундамента, на что указывают частое утонение базального горизонта чехла Окрибо-Сачхерской зоны, а также наличие вдоль контакта следов смятия и подвижек.

- Далее на север выделяется крупная разломная структура – Рача-Лечхумская шовная зона (РЛ), имеющая глубинное заложение и на протяжении всего альпийского цикла геологической истории разделявшая области с различными режимами раз-

вития. На поверхности она выражена в виде узкой, протяженной синклиальной депрессии (прогиба). Граница Рача-Лечхумского прогиба с Гагро-Джавской зоной (ГД) повсеместно разрывная.

- Разные по составу и мощности чешуи пород карбонатного флиша Чиаурской зоны (ЧФ) надвинуты (или взброшены) по Орхевскому надвигу на толщ верхнего лейаса, байоса и эоцена Гагро-Джавской зоны. Амплитуда горизонтального перекрытия северной окраины Гагро-Джавской зоны составляет несколько километров [5].

- Северная граница Чиаурской флишевой зоны обозначена зоной Тибского надвига, отделяющей ее от Казбеко-Лагодехской ступени Большого Кавказа (КЛ), сложенной песчано-сланцевыми толщами нижней юры и обрезанными с севера Адайком-Казбекским разломом.

- Севернее узкой полосой протягивается Мамисон-Казбекский реликтовый рубец (М-КР), составленный пестрым миксом терригенных и магматических пород, прижатых к Адайком-Казбекскому разлому Главным надвигом Центрального Кавказа.

- Главный надвиг ограничивает с юга:

- 1) Дигоро-Осетинскую зону (ДО), расположенную на западе и представленную комплексом туфо-печано-сланцевых пород с различной степенью метаморфизма, осложненную выходами блоков кристаллического фундамента (породы мигматит-гранитового ряда);

- 2) зону Киммерийской складчатости (КС) на востоке, сложенной алевролитами, песчаниками, туфами, туфопесчаниками и глинистыми сланцами.

- Эскарп Скалистого хребта разграничивает Дигоро-Осетинскую зону с севера и зону Северной моноклинали (СМ) с юга. В пределах СМ можно наблюдать незначительные дизъюнктивы субширотного простирания, такие как Северный Карцинский и Моравхохский разломы.

- Зона Северной моноклинали (СМ) оконтуривается с юга Владикавказскую котловину и протягивается в восток-юго-восточном направлении от границы с Кабардино-Балкарской республикой до границы с Ингушетией. Ширина зоны колеблется от 8 до 20 км и в среднем равна 15 км. Сложена Северная моноклинали среднеюрскими неогеновыми осадочными формациями. Снизу вверх выделяют известняковую, песчано-глинисто-карбонатную, карбонатная, глинистая и глинисто-песчаниковая формации. В пределах Северной Осетии зона Северной моноклинали содержит три ступени, выраженные хребтами с севера на юг: Лесистым, Пастбищным и Скалистым.

- Зона Владикавказского глубинного разлома разграничивает горное сооружение Кавказа с областью Терско-Каспийского краевого прогиба Скифской плиты (ПК) [9; 18].

Развитие геодезической сети продолжалось несколько лет и было подчинено определенной логике. В своей совокупности архитектура сети должна позволять проводить анализ специфики геодинамики территории на соответствующих масштабных

уровнях. С этой целью была сформирована группа из 19 пунктов – KARZ, DGIS, KADT, FGDN, TLAP, BUGT, HILK, ZRMG, MDLS, ZAKK, ROOK, EDIS, ERMN, DZMG, KSL2, MZGM, HVCE, KEHV и HETG, по профилю, ориентированному с ЮЮЗ на ССВ. Образованный профиль по долинам рек Большая Лиахва и Фиагдон пересекает все основные структурно-тектонические зоны Большого Кавказа. В крест основному профилю был организован профиль, ориентированный вдоль Орхевского надвига и состоящий из 10 пунктов – KVYS, LRGS, LNGR, TCLD, ERTS, HVCE, KEHV, MZGM, SAT2, SLUR.

Пункты ZRMG, ZAKK, MDLS и ROOK, входящих в первую группу, формируют также профиль вдоль Тибского надвига. Структурно сеть ГНСС-пунктов Владикавказской разломной зоны состоит из 4 профилей по долинам рек: Фиагдон (пункты FRSV, FDZF, FDZZ, FTGR), Гизельдон (GGZZ, GVSS, GVSO, GAVT), Ардон (ARMN, ATSC, ANBK, AVBC, AVBM, ATAM) и Терек (TNGP, TNGM, TVLG, TVLM, TRDN, TBLT). Три пункта – DJMR, KANI, LARS – расположены в зоне Киммерийской складчатости, южнее Северной моноклинали. С востока геодезическую сеть замыкают пункты KMTR и SKOM. На

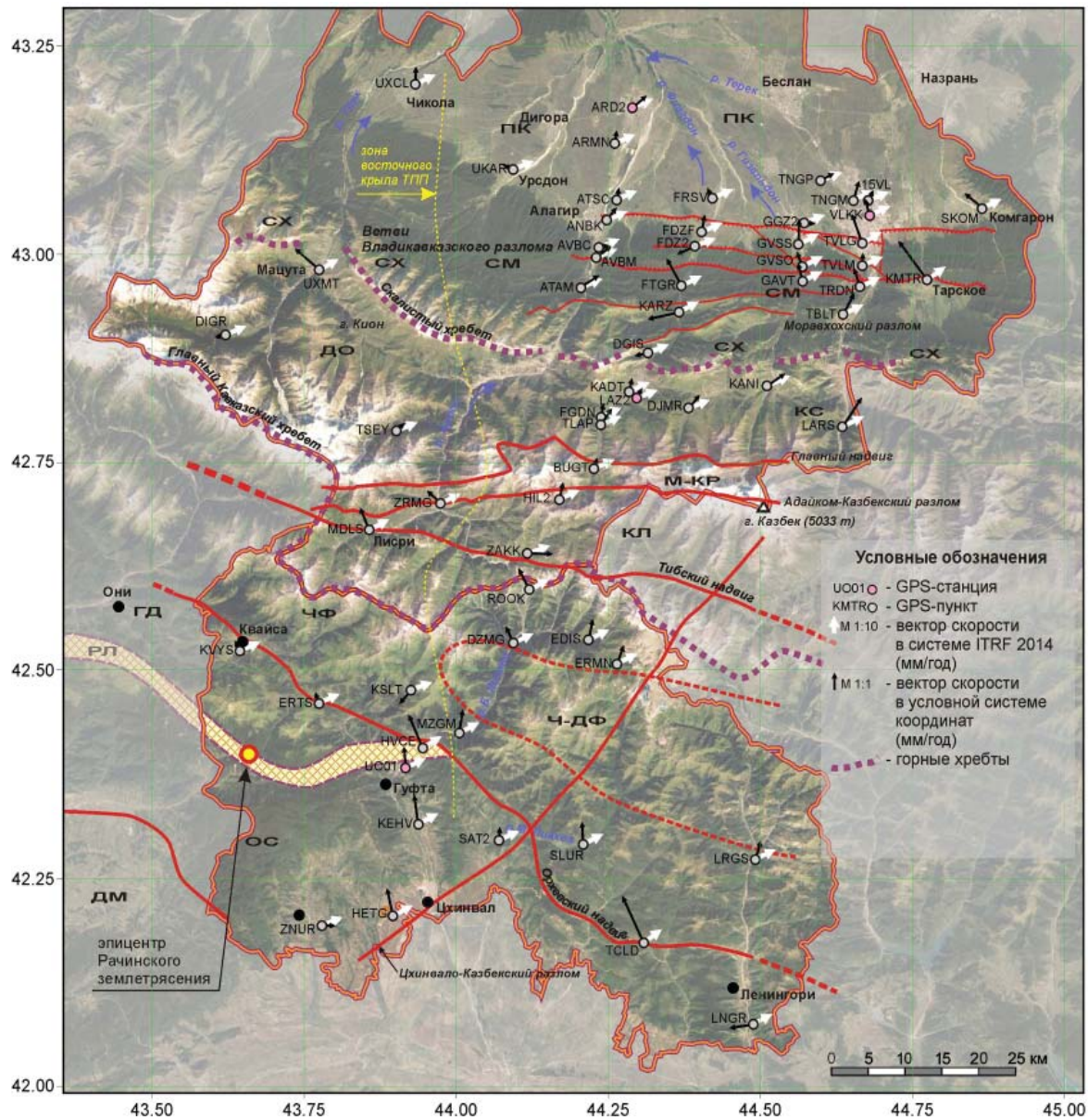


Рис. 2. Схема пунктов геодезической сети ГНСС-мониторинга геодинамической обстановки территории

Геолого-тектоническое районирование: Терско-Каспийский краевой прогиб Скифской плиты (ПК), зона северной моноклинали (СМ), включающая скалистый хребет (СХ), Дигоро-Осетинская зона (ДО), зона киммерийской складчатости (КС), Мамисон-Казбекский реликтовый рубец (М-КР), Казбеко-Лагодехская ступень (КЛ), Чиаурский флишевый синклиниорий (ЧФ), Чиауро-Дибрарский флишевый синклиниорий (Ч-ДФ), Гагро-Джавская зона (ГД), Рача-Лечхумская зона (РЛ), Оскрибо-Сачхерская зона (ОС), Дзирульский выступ кристаллического фундамента (ДМ).

Таблица 1
Расчетные скорости ГНСС-пунктов (мм/год) в глобальной системе
ITRF2014 (левая часть таблицы) и относительно неподвижной Евразии (ITRF2014-EURA)
(правая часть таблицы) [16]

№	Код	N	E	Ven	σ_{Ven}	Vn	σ_{Vn}	Ve	σ_{Ve}	Az	V (отн)	Vn (отн)	Ve (отн)	Az (отн)
1	ARD2	43,1764	44,2888	30,63	2,39	11,44	2,40	28,41	2,40	68,07	2,30	1,48	1,76	49,9
2	VLKK	43,0464	44,6774	28,78	0,68	11,51	0,68	26,38	0,68	66,43	1,88	1,82	-0,46	345,8
3	KARZ	42,9293	44,3654	30,49	0,87	14,37	0,88	26,89	0,88	61,88	4,45	4,44	0,23	3,0
4	DGIS	42,8810	44,3154	26,99	0,95	9,60	0,96	25,23	0,96	69,17	1,48	-0,30	-1,45	258,3
5	KADT	42,8337	44,2839	29,22	0,86	11,28	0,87	26,95	0,87	67,29	1,36	1,33	0,29	12,3
6	LAZ2	42,8265	44,2958	29,42	2,37	10,11	2,38	27,63	2,39	69,90	0,94	0,15	0,93	80,8
7	FGDN	42,8034	44,2370	29,12	0,84	11,32	0,84	26,83	0,84	67,12	1,37	1,36	0,17	7,1
8	TLAP	42,7941	44,2360	30,31	1,00	11,79	1,01	27,92	1,02	67,11	2,22	1,83	1,26	34,6
9	BUGT	42,7418	44,2250	29,04	0,85	10,88	0,85	26,93	0,85	68,00	0,96	0,92	0,26	15,8
10	HIL2	42,7042	44,1684	29,55	1,50	11,86	1,52	27,07	1,54	66,34	1,92	1,88	0,39	11,7
11	ZRMG	42,7001	43,9737	27,52	2,21	11,57	2,32	24,97	2,43	65,14	2,21	1,51	-1,62	313,0
12	ZAKK	42,6404	44,1155	31,59	0,83	9,85	0,84	30,02	0,84	71,83	3,36	-0,13	3,36	92,2
13	ROOK	42,5965	44,1194	28,29	0,88	12,64	0,89	25,31	0,89	63,46	2,99	2,66	-1,36	332,9
14	EDIS	42,5366	44,2172	29,91	0,82	12,52	0,83	27,16	0,83	65,25	2,60	2,56	0,48	10,6
15	DZMG	42,5331	44,0938	28,40	0,88	11,89	0,89	25,79	0,89	65,25	2,10	1,91	-0,87	335,5
16	ERMN	42,5076	44,2635	30,09	0,84	12,18	0,85	27,52	0,85	66,13	2,37	2,22	0,82	20,3
17	KSLT	42,4765	43,9255	26,65	3,41	8,58	3,50	25,23	3,59	71,22	2,05	-1,51	-1,38	222,4
18	MZGM	42,4249	44,0037	30,09	0,83	12,97	0,84	27,15	0,85	64,47	3,00	2,96	0,48	9,2
19	SLUR	42,2910	44,2078	29,49	0,95	12,75	0,97	26,59	0,99	64,38	2,79	2,79	-0,13	357,3
20	HVCE	42,4062	43,9445	28,70	1,20	14,66	1,23	24,67	1,25	59,28	5,05	4,64	-1,99	336,8
21	UO01	42,3824	43,9162	29,32	0,94	12,60	0,94	26,48	0,94	64,55	2,58	2,57	-0,21	355,3
22	KEHV	42,3154	43,9368	29,62	0,95	14,05	0,96	26,08	0,97	61,69	4,07	4,03	-0,60	351,5
23	SAT2	42,2953	44,0698	29,17	1,38	11,28	1,39	26,90	1,40	67,25	1,30	1,29	0,19	8,4
24	HETG	42,2054	43,8965	29,27	0,83	13,61	0,84	25,91	0,84	62,29	3,66	3,58	-0,77	347,9
25	ZNUR	42,1932	43,7796	29,74	2,11	10,03	2,16	28,00	2,21	70,29	1,31	-0,03	1,31	91,3
26	KVYS	42,5238	43,6446	28,37	0,88	11,03	0,89	26,14	0,90	67,12	1,06	0,94	-0,48	333,0
27	LRGS	42,2725	44,4909	29,92	2,46	12,11	2,54	27,36	2,61	66,13	2,29	2,21	0,59	15,0
28	LNGR	42,0746	44,4869	26,02	2,13	11,29	2,17	23,44	2,21	64,28	3,14	-0,45	-3,11	261,7
29	TCLD	42,1729	44,3069	28,95	2,29	16,86	2,36	23,53	2,42	54,38	7,63	6,92	-3,22	335,1
30	ERTS	42,4608	43,7748	28,60	0,85	11,12	0,86	26,35	0,87	67,12	1,10	1,06	-0,30	344,2
31	DIGR	42,9033	43,6217	27,43	0,87	9,91	0,89	25,58	0,91	68,82	1,01	-0,20	-0,99	258,6
32	MDLS	42,6682	43,8565	28,56	1,99	12,84	2,07	25,51	2,14	63,28	3,01	2,79	-1,14	337,8
33	TSEY	42,7880	43,9013	29,10	2,82	10,58	2,97	27,11	3,11	68,68	0,74	0,51	0,54	46,6
34	UXCL	43,2043	43,9320	29,21	2,17	11,95	2,23	26,65	2,29	65,85	1,92	1,92	0,06	1,8
35	UXMT	42,9814	43,7744	26,52	2,26	12,90	2,36	23,17	2,45	60,89	4,45	2,83	-3,43	309,5
36	UKAR	43,1021	44,0939	28,01	3,92	10,17	4,03	26,10	4,14	68,71	0,56	0,19	-0,53	289,7
37	ARMN	43,1321	44,2597	29,10	1,14	11,24	1,16	26,84	1,17	67,28	1,31	1,29	0,20	8,8
38	ATSC	43,0642	44,2635	28,99	1,23	11,09	1,25	26,79	1,27	67,51	1,15	1,14	0,15	7,5
39	ANBK	43,0409	44,2463	30,01	1,52	11,31	1,56	27,80	1,60	67,86	1,80	1,37	1,16	40,3
40	AVBC	43,0076	44,2330	28,97	1,21	10,34	1,23	27,06	1,25	69,09	0,59	0,10	0,58	80,2
41	AVBM	42,9958	44,2289	30,64	1,21	11,28	1,23	28,49	1,25	68,40	2,26	1,32	1,84	54,3
42	ATAM	42,9597	44,2041	31,16	1,20	11,42	1,24	28,99	1,27	68,50	2,76	1,46	2,34	58,0
43	FRSV	43,0680	44,4210	28,36	1,12	10,36	1,14	26,40	1,15	68,57	0,52	0,45	-0,26	330,0
44	FDZF	43,0261	44,4013	29,49	1,09	11,88	1,11	26,99	1,12	66,24	1,99	1,96	0,32	9,3
45	FDZ2	43,0094	44,3916	26,06	2,04	8,93	2,08	24,48	2,11	69,96	2,40	-0,99	-2,19	245,7
46	FTGR	42,9613	44,3698	28,88	2,16	12,46	2,19	26,05	2,21	64,44	4,17	3,66	-2,00	331,4
47	GGZ2	43,0373	44,5691	29,26	2,17	9,79	2,22	27,57	2,27	70,45	0,87	-0,09	0,87	95,9
48	GVSS	43,0117	44,5614	29,71	1,94	13,61	1,97	26,41	1,99	62,74	3,26	3,26	0,03	0,5
49	GVSO	42,9848	44,5675	28,42	1,54	11,84	1,59	25,84	1,64	65,38	1,72	1,62	-0,59	340,0
50	GAVT	42,9668	44,5684	28,76	1,03	12,07	1,04	26,11	1,05	65,19	2,27	2,19	-0,60	344,7
51	TNGP	43,0880	44,5976	30,06	1,26	10,88	1,28	28,02	1,30	68,78	1,67	0,74	1,50	63,7
52	TNGM	43,0639	44,6529	29,95	1,29	12,17	1,34	27,37	1,38	66,03	2,41	2,31	0,68	16,4
53	TVLG	43,0130	44,6659	28,75	1,19	13,96	1,20	25,13	1,21	60,95	4,12	3,87	-1,41	340,0
54	TVLM	42,9859	44,6663	28,90	1,21	11,00	1,23	26,73	1,24	67,63	1,14	1,14	0,02	1,0
55	TRDN	42,9607	44,6611	28,65	1,15	12,08	1,16	25,98	1,17	65,06	2,34	2,22	-0,73	341,8
56	TBLT	42,9273	44,6346	30,78	1,18	12,40	1,20	28,17	1,21	66,24	2,94	2,61	1,36	27,5
57	SKOM	43,0548	44,8635	27,12	1,94	11,60	1,98	24,51	2,01	64,67	2,84	1,79	-2,21	309,0
58	KMTR	42,9690	44,7729	27,26	2,09	15,51	2,16	22,42	2,23	55,32	7,13	5,68	-4,31	322,8
59	DJMR	42,8150	44,3814	30,29	1,17	10,18	1,18	28,53	1,19	70,36	1,98	0,02	1,98	89,4
60	KANI	42,8415	44,5094	31,18	1,20	11,45	1,21	29,00	1,22	68,45	2,78	1,56	2,30	55,9
61	LARS	42,7930	44,6324	32,55	1,25	13,88	1,24	29,44	1,23	64,76	4,85	4,02	2,71	34,0
62	15VL	43,0651	44,6747	29,08	1,25	10,65	1,25	27,06	1,25	68,52	0,86	0,78	0,36	24,8

западе, в зоне ТПП, по долине р. Урух оборудованы пункты UXMT, UXCL и DIGR (рис. 2) [14; 18; 19].

ГНСС-мониторинг пунктов геодезической сети позволил определиться со скоростями их смещения как в глобальной системе ITRF2014, в которой Евразийский континент является подвижным, так и в системе, связанной с условно неподвижной Евразией – ITRF2014-EURA. На рисунке 2 визуализируются данные из таблицы 1 в виде векторов. Стрелки белого цвета демонстрируют смещение пунктов в масштабе 1:10 относительно глобальной системы ITRF2014. Стрелки черного цвета соответствуют смещениям пунктов в условной системе ITRF2014-EURA в масштабе 1:1.

На приведенной схеме планового разноса эпицентров землетрясений (рис. 3) наблюдается неравномерно-рассеянное положение эпицентров, образующих области сгущений. С целью исследования наблюдаемой пространственной неравномерности проявления сейсмического процесса, исходная выборка: N 41.75÷43.75; E 43.25÷45.25; T 01.01.1995÷16.10.2015, из каталога международного сейсмологического центра ISC (<http://www.isc.ac.uk/citations/>) была пространственно разделена на 9 частей по контурам 9 равных по площади участков (кластеров), обозначенных на рисунке 3. Выбранная масштабность рассмотрения сейсмичности примерена к размерам сгущений эпицентров землетрясений, образованных за 20 лет. Значе-

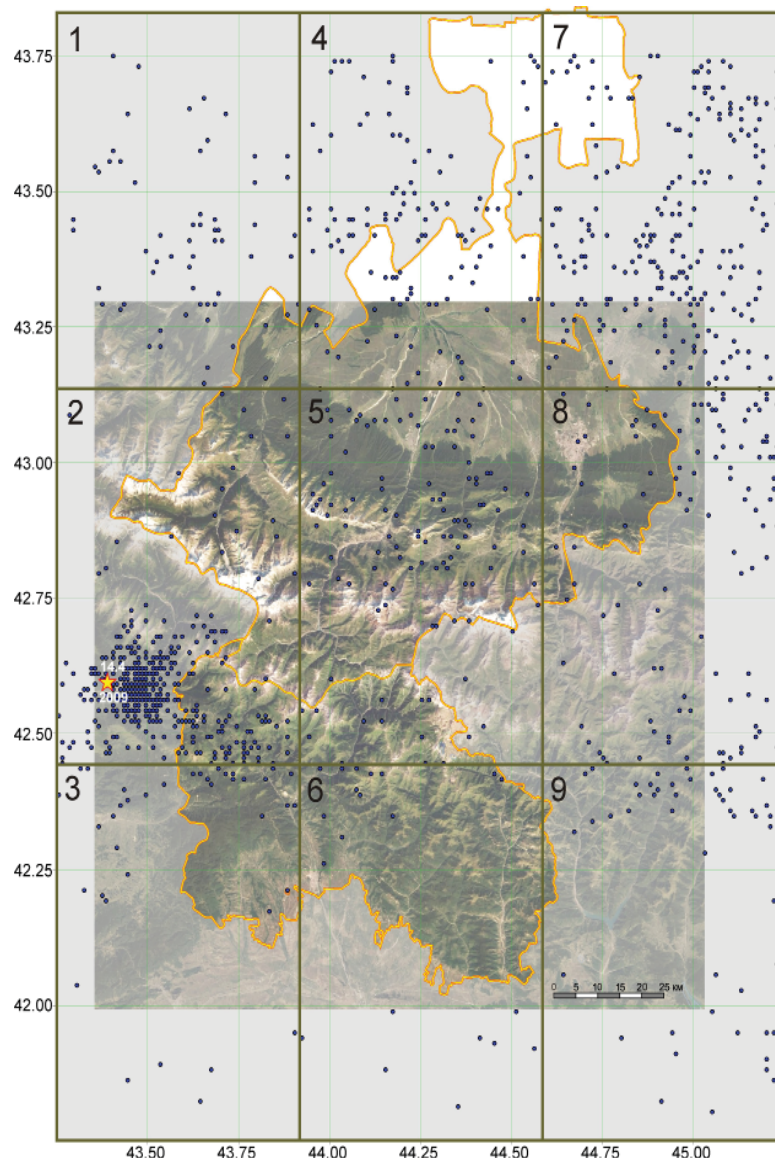


Рис. 3. Экспликация эпицентров землетрясений с магнитудой $M > 1,8$, происшедших за время 1995+2015 гг. в границах и примыкающих окрестностях Северной и Южной Осетии. Выборка из каталога Международного сейсмологического центра (ISC). Количество строк в выборке: 1236. Разделение территории выборки на 9 равных по площади участков-кластеров.

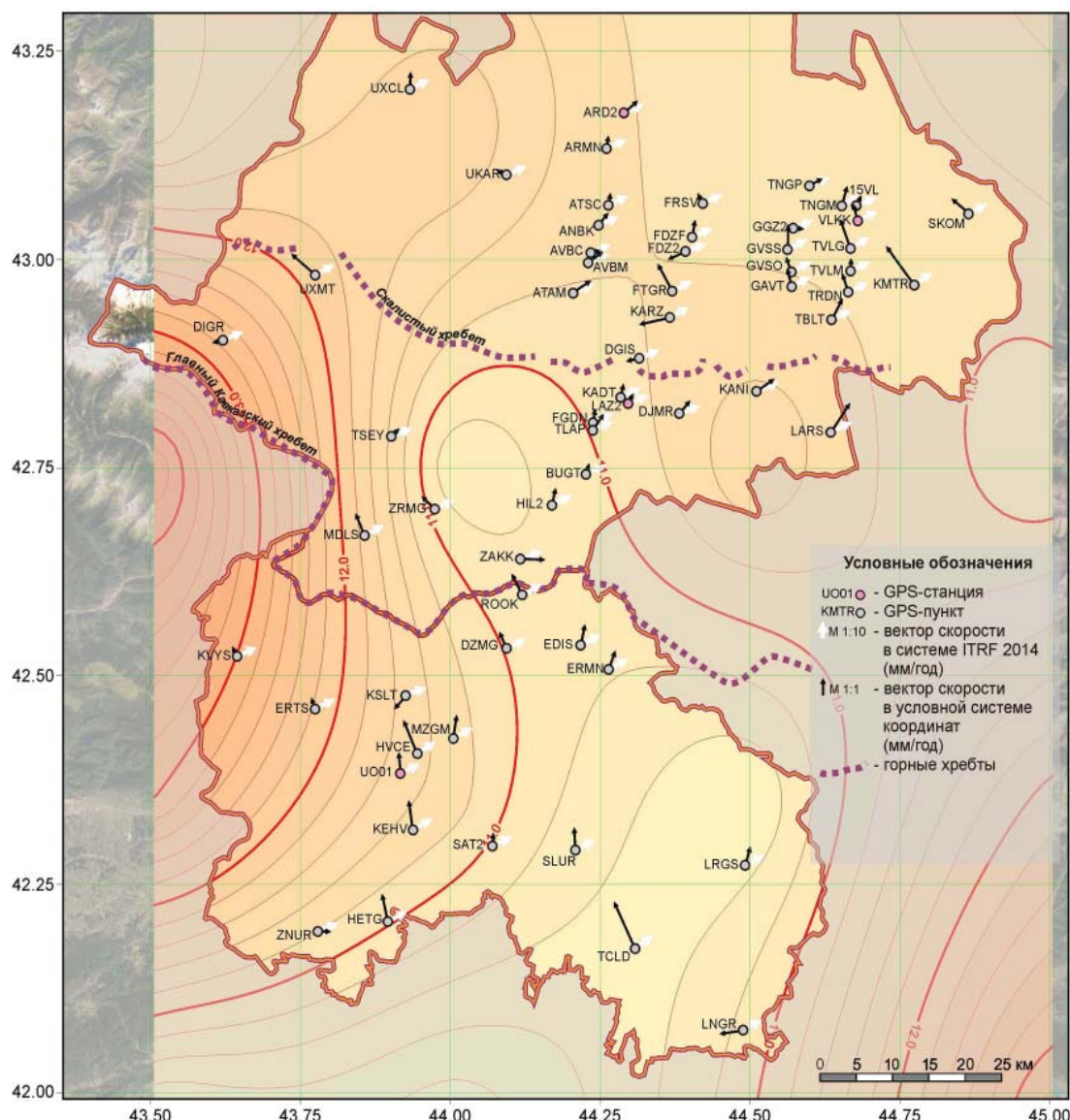


Рис. 4. Схема пунктов геодезической сети ГНСС-мониторинга геодинамической обстановки территории на фоне поля распределения суммарной сейсмической энергии, проявленной на территории в течение периода: 1995–2015 гг. Основные изолинии номинированы в единицах энергетического класса землетрясений – K

ния магнитуд M , представленных в каталоге, были пересчитаны в показатели энергетического класса землетрясения K по формуле Раутиан:

$$K = 1.8M + 4. \quad (1)$$

опустится ниже $K \sim 12$ и западный фланг поля будет оставаться более энергичным, чем в срединной полосе территории, где минимальные значения поля наблюдаются по профилю: TCLD, LRGS,

Затем в каждом из 9 кластеров был проведен расчет суммарной сейсмической энергии, высвобожденной соответствующей группой землетрясений за время 1995–2015 гг.

$$E_i = \lg \sum_{n=1}^{n=p} 10^{K_n} \quad (2)$$

где E_i – суммарная сейсмическая энергия в кластере $i = 1 \div 9$, выраженная в единицах энергетическо-

го класса землетрясения K , p – порядковый номер строки в выборке землетрясений для кластера i .

Для разных кластеров определились разные уровни сейсмической энергии, выделенной в течение 20 лет. Результаты вычислений был вынесены в геометрические центры соответствующих кластеров и интерполированы по площади. Полученное поле распределения суммарной сейсмической энергии показано на рисунке 4 в несколько обрезанном виде (по рамке спутникового снимка на рис. 3).

Заметная аномалия проявления суммарной сейсмической энергии, выявленная в кластере 2, обусловлена сильным землетрясением ($K = 14.4$; $N = 42.56$; $E = 43.38$; $T = 2009.09.07$). Но, даже если его вывести из расчета вместе со значительными сопровождающими афтершоками, результат не

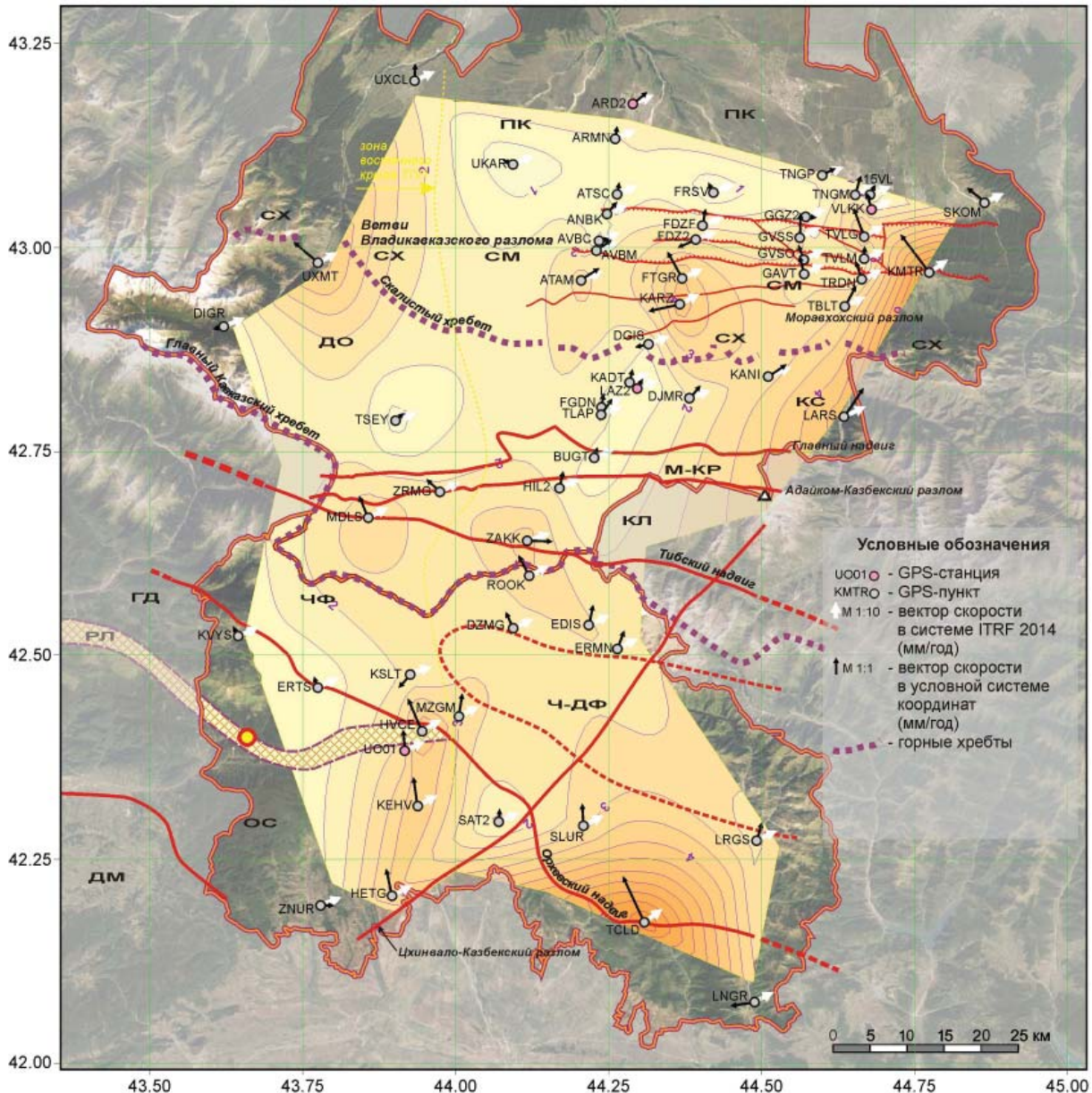


Рис. 5. Поле распределения скоростей горизонтального смещения ГНСС-пунктов (мм/год) в условной системе ITRF2014-EURA на фоне схемы разрывной тектоники

опустится ниже $K \sim 12$ и западный фланг поля будет оставаться более энергичным, чем в срединной полосе территории, где минимальные значения поля наблюдаются по профилю: TCLD, LRGS, ERMN, ZAKK, FGDN, KARZ, FRSV. В восточном направлении от срединной зоны номинальные значения поля опять возрастают. Обращает на себя внимание диагональная перемичка, образованная повышенными значениями поля в области пунктов LARS, KANI, KARZ, FDZ2, ATAM, AVBM, AVBC.

Геодезическая сеть ГНСС-пунктов охватывает множество тектонических блоков, которые зачастую являясь соседними, участвуют в сложном сбросо-взбросо-надвиговом движении. Специфичность их динамики, фиксируемая в глобальной системе ITRF2014, существенно

контрастнее проявляется в условной системе ITRF2014-EURA (рис. 5).

Повышенные значения относительных скоростей ГНСС-пунктов HETG; KEHV; HVCE; MDLS; UXMT, расположенных на западном краю поля, скорее всего маркирует восточное крыло ТПП. Срединная зона региона, приуроченная к профилю: SAT2, DZMG, BUGT, TSEY и UKAR – проявляет меньшую подвижность. На восточном фланге, по пунктам SKOM, KMTR, LARS, фиксируется возрастание относительных скоростей пунктов. Нехватка вертикальной составляющей для векторов скорости не позволяет корректно оценивать величины реальных деформаций. Однако, исходя из фундаментального представления, что скорость деформации твердого тела напрямую зависит от прила-

гаемого усилия, можно считать, что в результате проведенных расчетов и построений проявляются области низких, повышенных и высоких динамических напряжений в верхних слоях земной коры (ЗК), хотя и косвенным образом.

Совместное рассмотрение рисунков 4 и 5 позволяет заметить, что в срединной зоне, пересекающей регион по направлению Ю-С, уровень проявления сейсмической энергии значительно ниже, чем на прилегающих с запада и востока территориях. Эта же закономерность отчетливо прослеживается в срединной полосе и для скоростей ГНСС-пунктов: расположенные к востоку и западу от полосы ГНСС-пункты демонстрируют смещения с существенно большей скоростью.

Особое внимание обращает на себя аномально высокой скоростью смещения пункт TCLD, расположенный в зоне активной тектонической структуры высокого ранга – Орхевского надвига. Подозрение на неустойчивое закрепление пункта имеет место. Однако влияние склоновых процессов трудно допустимо: пункт расположен на пологом склоне (5° – 6°), жестко закреплен в бетоне, и само смещение зарегистрировано вверх по склону. Исходя из этого, резонно рекомендовать изучение обозначенной области земной коры независимыми геофизическими методами. Следует отметить такую же диагональную переемычку, образованную повышенными значениями относительных скоростей пунктов LARS, KANI, KARZ, FDZZ, ATAM, AVBM, AVBC. Эта же цепочка пунктов уже была обозначена несколькими строками выше, применительно к полю распределения суммарной сейсмической энергии (рис. 4). Принимая во внимание информацию, представленную рисунком 1, можно констатировать, что положение выявленной диагональной переемычки хорошо согласуется с положением границы между Бечасынской и Восточно-Кавказской микроплитами-террейнами, изученной посредством геолого-геофизических методов в ходе предыдущих исследовательских работ.

ВЫВОДЫ

Современное продвижение Аравийской плиты вглубь Евразийского континента происходит по сложнейшей схеме, подчиненной исторически вы-

строенному тектоническому устройству горного сооружения Кавказ. Мегаантиклинорий Кавказа, в котором горные хребты являются телами надвигов, имеющими сложную внутреннюю структуру и характеризующиеся сочетанием многоэтапных деформаций, продолжает развиваться. Интенсивная сейсмичность территории напрямую свидетельствует об этом. Подмеченная в данной работе пространственная корреляция между уровнем сейсмичности и тектонической активностью поверхности Земной коры должна быть изучена более подробно.

Сеть геодезических пунктов, предназначенных для ведения ГНСС-мониторинга геодинамики территории, развитая в горных областях территории Северной и Южной Осетии, требует дополнительного сгущения. Условно равномерное распределение геодезических пунктов сети позволит точнее проявлять сложную картину деформации земной коры в регионе, заблаговременно привлекать внимание и инициировать комплексные геофизические исследования недр потенциально опасных участков. Симбиоз результатов ГНСС-наблюдений и сейсмологической информации является перспективным направлением в изучении геодинамической обстановки и прогноза опасных сейсмических проявлений.

Одним из новых направлений международного сотрудничества, в котором также участвует группа ВНЦ РАН, является проект «Активная тектоника и сейсмоопасность в зоне столкновения Аравийского и Евразийского континентов». Проект направлен на создание плотных сетей ГНСС и сейсмических станций, которые должны давать дополнительную информацию к оценкам скоростей сдвигов и скольжений по известным активным разломам и определению их сейсмического потенциала. Учреждения-партнеры участвуют во всех аспектах проекта, включая сбор данных, анализ, комплексирование с другой геологической и геофизической информацией, а также интерпретацию и моделирование геодинамических процессов. Основополагающим и существенным элементом этой деятельности является открытый обмен наблюдениями и знаниями в рамках семинаров и целенаправленных совместных исследовательских инициатив [16].

Авторы выражают благодарность А.П. Миронову, сотруднику Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, за участие в подготовке и обработке полевых ГНСС-измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Наталов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. В 3 кн. – М.: Недра, 1990.
2. Баранов Г.И., Греков И.И. Геодинамическая модель Большого Кавказа (Сб. докладов на 2 семинаре по геодинамике Кавказа в Тбилиси, апр. 1980). – М.: Наука, 1982. С. 51.
3. Баранов Г.И. Новые данные по магматизму и метоморфизму пород Северного Кавказа. // Сб. «Тезисы докладов VII краевой конференции по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа». – Ессентуки, 1991. С. 62–63.
4. Баранов Г.И. Геодинамическое развитие Большого Кавказа в палеозое. Основные проблемы геологического изучения и использования недр Северного Кавказа. // Материалы VIII Юбилейной конференции по геологии и полезным ископаемым. – Ессентуки, 1995, с. 54–56.
5. Ольховский Г.П., Тиболов С.М., Троцак С.А. и др. Со-

ставление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии // Владикавказ, отчет ГГП «Севосгеологоразведка», 1998.

6. **Короновский Н.В.** Геодинамическая обстановка проявления кайнозойского вулканизма на Кавказе и в альпийском складчатом поясе. (Сб. докладов 2 семинара по геодинамике Кавказа в Тбилиси, апр. 1980). – М.: Наука, 1982. С. 47.

7. **Милановский Е.Е., Короновский Н.В.** Орогенный вулканизм и тектоника альпийского пояса Евразии. – М.: Недра, 1973.

8. **Шевченко В. И., Лукк А. А., Прилепин М. Т., Рейлинджер Р. Е.** Современная геодинамика Средиземноморской-Малокавказской части Альпийско-Индонезийского подвижного // Физика Земли, 2014, № 1. С. 40–58

9. **Овсюченко А.Н., Горбатов А.В., Степанова М.Ю., Ларин Н.В., Рогожин Е.А.** Сейсмотектоника и глубинное строение зоны Владикавказского активного разлома // Геофизические исследования, 2011, Том 12, № 1. С. 47–59.

10. **Рогожин Е.А.** Очерки региональной сейсмотектоники / отв. ред. А.О. Глико. – М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.

11. **Шевченко В.И., Гусева Т.В., Лукк А.А., Мишин А.В., Прилепин М.Т., Рейлинджер Р.Э., Хамбургер М.У., Шемпелев А.Г., Юнга С.Л.** Современная геодинамика Кавказа (по результатам GPS измерений и сейсмологическим данным) // Физика Земли. 1999. № 9. С. 3–18.

12. **Шевченко В.И.** Тектонические дислокации на территории Осетии и механизм их формирования // Складчатые деформации земной коры, их типы и механизм образования. – М.: Изд. АН СССР, 1962. С. 42–77.

13. **Миллюков В.К., Дробышев В.Н., Миронов А.П., Стеблов Г.М., Хубаев Х.М.** Осетинская геодезическая спутни-

ковая сеть: создание и первые результаты геодинамического мониторинга // Вестник ВНЦ РАН, Т. 4, 2014, С. 2–11.

14. **Миллюков В.К., Дробышев В.Н., Миронов А.П., Овсюченко А.Н., Хубаев Х.М.** Создание высокоточной геодезической сети для изучения современных движений Владикавказской разломной зоны с использованием GPS-технологий // Вестник ВНЦ РАН, Т. 4, 2014. С. 25–29.

15. **Миллюков В.К.,** Изучение современной геодинамики Осетинской части Большого Кавказа на основе мобильных GPS/ГЛОНАСС измерений // Отчет по гранту РФФИ 12-05-00711-а, Москва, ГАИШ МГУ, 2014.

16. **Миллюков В.К., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М., Миронов А.П.** Исследование современного состояния земной коры Осетинского региона Большого Кавказа средствами спутниковой геодезии // Владикавказ, Отчет НИР ВНЦ РАН, 2020.

17. **Миллюков В.К., Миронов А.П., Стеблов Г.М., Шевченко В.И., Кусраев А.Г., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М.** Современные горизонтальные движения основных элементов тектонической структуры Осетинской части Большого Кавказа по GPS-измерениям // Физика Земли. 2015. № 4. С. 68–80. doi 10.7868/S0002333715040079

18. **Рогожин Е.А.** Сейсмотектоника центрального сектора Большого Кавказа как основа для сейсмического мониторинга и оценки сейсмической опасности // Вестник ВНЦ, 2009. Т. 9, № 4. С. 16–22.

19. **Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Докучаев А.Я., Газеев В.М., Лексин А.Б., Ляшенко О.В.** Транскавказское направление вулканизма: причина, следствия и эпитепальная минерализация // Вестник Владикавказского научного центра, 2007, №3, Т. 7. С. 25–44.

REFERENCES

1. Zonenshayn L.P., Kuz'min M.I., Natapov L.M. Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR. V 3 kn. – М.: Nedra, 1990.
2. Baranov G.I., Grekov I.I. Geodinamicheskaya model' Bol'shogo Kavkaza (Sb. dokladov na 2 seminaru po geodinamike Kavkaza v Tbilisi, apr. 1980). – М.: Nauka, 1982. S. 51.
3. Baranov G.I. Novye dannye po magmatizmu i metamorfizmu porod Severnogo Kavkaza. // Sb. «Tezisy dokladov VII kraevoy konferentsii po geologii i poleznym iskopaemym Severnogo Kavkaza». – Essentuki, 1991. S. 62–63.
4. Baranov G.I. Geodinamicheskoe razvitiye Bol'shogo Kavkaza v paleozoe. Osnovnyye problemy geologicheskogo izucheniya i ispol'zovaniya nedr Severnogo Kavkaza. // Materialy VIII Yubileynoy konferentsii po geologii i poleznym iskopaemym. – Essentuki, 1995. s. 54–56.
5. Ol'khovskiy G.P., Tibilov S.M., Troshchak S.A. i dr. Sostavlenie spetsializirovannoy geologicheskoy osnovy masshtaba 1:50000 dlya prognozno-metallogenicheskoy karty Gornoj Osetii // Vladikavkaz, otchet GGP «Sevosgeologorazvedka», 1998.
6. Koronovskiy N.V. Geodinamicheskaya obstanovka proyavleniya kaynozoyского vulkanizma na Kavkaze i v al'piyskom skladchatom poyase. (Sb. dokladov 2 seminaru po geodinamike Kavkaza v Tbilisi, apr. 1980). – М.: Nauka, 1982. S. 47.
7. Milanovskiy E.E., Koronovskiy N.V. Orogennyi vulkanizm i tektonika al'piyskogo poyasa Evrazii. – М.: Nedra, 1973.
8. Shevchenko V. I., Lukk A. A., Prilepin M. T., Reylyndzher R. E., Sovremennaya geodinamika Sredizemnomorskoy-Malokavkazskoy chasti Al'piysko-Indoneziyskogo podvizhnogo // Fizika Zemli, 2014, № 1. S. 40–58
9. Ovsyuchenko A.N., Gorbatiykov A.V., Stepanova M.Yu., Larin N.V., Rogozhin E.A. Seysmotektonika i glubinnoe stroenie zony Vladikavkazskogo aktivnogo razloma // Geofizicheskie issledovaniya, 2011, Tom 12, № 1. S. 47–59.
10. Rogozhin E.A. Oчерки regional'noy seysmotektoniki / отв. ред. А.О. Глико. – М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.
11. Shevchenko V.I., Guseva T.V., Lukk A.A., Mishin A.V., Prilepin M.T., Reylyndzher R.E., Khamburger M.U., Shempelev A.G., Yunga S.L. Sovremennaya geodinamika Kavkaza (po rezul'tatam

- GPS izmereniy i seysmologicheskim dannym) // Fizika Zemli. 1999. № 9. S. 3–18.
12. Shevchenko V.I. Tektonicheskie dislokatsii na territorii Osetii i mekhanizm ikh formirovaniya // Skladchatye deformatsiya zemnoy kory, ikh typy i mekhanizm obrazovaniya. – М.: Изд. АН СССР, 1962. S. 42–77.
13. Milyukov V.K., Drobyshev V.N., Mironov A.P., Steblov G.M., Khubaev Kh.M. Osetinskaya geodezicheskaya sputnikovaya set': sozdanie i pervye rezul'taty geodinamicheskogo monitoringa // Vestnik VNTs RAN, T. 4, 2014, S. 2–11.
14. Milyukov V.K., Drobyshev V.N., Mironov A.P., Ovsyuchenko A.N., Khubaev Kh.M. Sozdanie vysokotochnoy geodezicheskoy seti dlya izucheniya sovremennykh dvizheniy Vladikavkazskoy razlomnoy zony s ispol'zovaniem GPS-tekhnologiy // Vestnik VNTs RAN, T. 4, 2014. S. 25–29.
15. Milyukov V.K., Izuchenie sovremennoy geodinamiki Osetinskoy chasti Bol'shogo Kavkaza na osnove mobil'nykh GPS/GLONASS izmereniy // Otchet po grantu RFFI 12-05-00711-a, Moskva, GAISH MGU, 2014.
16. Milyukov V.K., Drobyshev V.N., Khubaev Kh.M., Mironov A.P. Issledovanie sovremennogo sostoyaniya Zemnoy kory Osetinskogo regiona Bol'shogo Kavkaza sredstvami sputnikovoy geodezii // Vladikavkaz, Otchet NIR VNTs RAN, 2020.
17. Milyukov V.K., Mironov A.P., Steblov G.M., Shevchenko V.I., Kusraev A.G., Drobyshev V.N., Khubaev Kh.M. Sovremennyye gorizonta'l'nye dvizheniya osnovnykh elementov tektonicheskoy struktury Osetinskoy chasti Bol'shogo Kavkaza po GPS-izmereniyam // Fizika Zemli. 2015. № 4. S. 68–80. doi 10.7868/S0002333715040079
18. Rogozhin E.A. Seysmotektonika tsentral'nogo sektora Bol'shogo Kavkaza kak osnova dlya seysmicheskogo monitoringa i otsenki seysmicheskoy opasnosti // Vestnik VNTs, 2009. T. 9, № 4. S. 16–22.
19. Gurbanov A.G., Bogatikov O.A., Dokuchaev A.Ya., Gazeev V.M., Laksin A.B., Lyashenko O.V. Transkavkazskoe napravlenie vulkanizma: prichina, sledstviya i epitepальная mineralizatsiya // Vestnik VNTs, 2007, №3, T. 7. S. 25–44.