
НАШИ ГОСТИ

УДК 551.24:528

DOI: 10.23671/VNC.2017.1.9484

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СЕТИ GPS-СТАНЦИЙ АЗЕРБАЙДЖАНА

© 2017 И. Э. Казымов, к.г.-м.н., З. С. Рахимли, С. С. Юзбашиева

Национальная Академия Наук Азербайджана, Республиканский Центр Сейсмологической Службы, Азербайджан, 1001, Баку, ул. Гусейн Джавида, 123,
e-mail: sabina.k@mail.ru

В работе представлены аспекты основных методов геодинамических исследований на территории Азербайджана. Представлена история развития GPS-сети. В результате полученных данных за 2015–2016 гг. было выявлено, что существующее распределение скоростей способствует накоплению напряжений различной величины вдоль Главного Кавказского надвига, что может сказываться на сейсмическом режиме исследуемого региона.

Ключевые слова: геодинамические процессы, земная кора, GPS-измерения.

Введение

Естественные геодинамические процессы, протекающие в земной коре, проявляются в виде различных типов движений. Они могут иметь монотонный характер, когда различные участки земной коры однонаправленно движутся вдоль линий разломов в локальном масштабе или вдоль границ глобальных тектонических плит. Движения могут быть скачкообразными и проявляться в форме землетрясений. В обоих случаях движения являются причиной деформирования земной поверхности [Красноперов, 2015].

Исследование Земли из космоса является инновационной научно-методической основой познания структуры и геодинамики земной коры. Благодаря современным спутниковым технологиям стало реальным оперативное и высокоточное геоинформационное обеспечение региональных геологических исследований, поисков месторождений полезных ископаемых, мониторинга и картографирования состояния верхней части литосферного пространства в условиях техногенеза.

Конечно, на практике идеальной системы дистанционного зондирования (ДЗ) не существует в силу следующих причин: 1. Ни один источник не способен обеспечить однородность потока излучения как в пространстве, так и во времени. 2. Из-за взаимодействия излучения с газами атмосферы, молекулами 3. водяного пара и атмосферными частицами изменяется интенсивность излучения и его спектр. 4. Одно и то же вещество при разных условиях может иметь разную спектральную чувствительность. В то же время, спектральная чувствительность разных веществ может совпадать. 5. На практике не существует идеального сенсора, с помощью которого можно было бы регистрировать все длины волн электромагнитного спектра. 6. Из-за технических ограничений передача данных и их интерпретация иногда

выполняются с задержкой по времени. Формат передаваемых данных также может отличаться от того, который требуется потребителю, и в результате потребитель получает данные в нужном формате лишь спустя некоторое время. 7. Потребители могут не обладать необходимой информацией о параметрах сбора данных ДЗ и не иметь достаточного опыта для их анализа и дешифрирования [Губин, 2010].

Важнейшим элементом при создании геодинамических моделей является составляющая, учитывающая изменения, происходящие на поверхности Земли под влиянием современных движений земной коры. Во многом именно они определяют активность многих деструктивных природных явлений и влияют на ход экзогенных процессов, в том числе, вызванных хозяйственной деятельностью человека [Воробьева, 2012].

Наиболее эффективный способ получения экспериментальных данных – комплексный геомеханический мониторинг земной приповерхностной толщи на основе геодинамических полигонов. Полигоны организуются в местах проявления наибольшей активности движений блоков. Для получения пространственных данных создается геодезическая сеть, а мониторинговые работы в этом случае основаны на повторных наблюдениях углов и расстояний между узлами этой сети. В этом контексте одна из основных задач наблюдений на геодинамических полигонах – фиксировать движения отдельных структурных блоков и, в первую очередь, их горизонтальные смещения друг относительно друга особенно на границах, т.е. в районах выявленных разломов [Губин, 2010].

Методика вычислений

Одним из методов, получивших в настоящее время широкое распространение в мире, является метод, основанный на технологиях глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). С появлением GPS-технологий, которая является первой из реализованных ГНСС технологий, появилась возможность осуществления высокоточного (3–10 мм во всех измерениях) геодезического мониторинга на значительных по площади территориях при относительно небольших затратах средств и времени.

Для наблюдения за изменениями земной поверхности, вызванными геодинамическими процессами, на протяжении ряда лет успешно, как указано выше, применяются GPS-приборы. Высокоточные GPS-измерения практически любых линий проводятся на основе дифференциального метода с использованием так называемых базовых GPS-станции (этот метод еще называют методом относительной кинематики). В этом случае во время измерений один спутниковый приемник (базовая станция) постоянно находится в точке с известными координатами, а другой – перемещается, фиксируя положение снимаемых точек. Каждая базовая станция на территории Азербайджана оснащена приемником фирмы «Trimble Net R9», антенной «Zephyr» и «Choke ring» (рис. 1), солнечной панелью и аккумулятором, стоимость которых достигает 50 000 \$.

Структура сети референтных станций

Состав сети референтных станций по [Техническое описание сетей...]:

1. Собственно «Сеть референтных станций», представляющая собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из постоянно работающих приемников спутниковых сигналов с жестко фиксированными антеннами, объединенных каналами связи с вычислительным центром.



Рис. 1. Элементы базисной GPS-станции – приемник фирмы «Trimble Net R9», антенна «Zephyr» и «Choke ring»

2. *Сеть коммуникаций*, связывающая референтные станции с вычислительным центром и обеспечивающие доступ Пользователя к данным сети RS.

3. *Вычислительный центр* – программно-аппаратный комплекс, предназначенный для управления сетью референтных станций, сбора и архивации данных сети, и выдачи пользовательскому сектору координатно-временной информации, как для режима постобработки, так и для работы в реальном времени.

4. *Пользовательский сектор* – потребители координатно-временной информации, обладающие парком приемников спутниковых сигналов различного типа и назначения (рис. 2).

Современное развитие спутниковой геодезии, и в частности, сетей референтных станций подразумевает наличие на пунктах RS сетей коммуникаций. Как правило, такие сети подведены к промышленным или жилым зданиям. Исходя из существующей реальности, допускается установка центров на крышах и стенах зданий при соблюдении определенных требований (Рекомендации по размещению и эксплуатации постоянно действующих референтных станций (в сетях IGS) (рис. 3)

Допускается установка только на строения из кирпича или железобетона. Здание должно быть построено не менее чем за 5 лет до установки знака (за этот период происходит начальная усадка здания). Сооружение, на котором устанавлива-

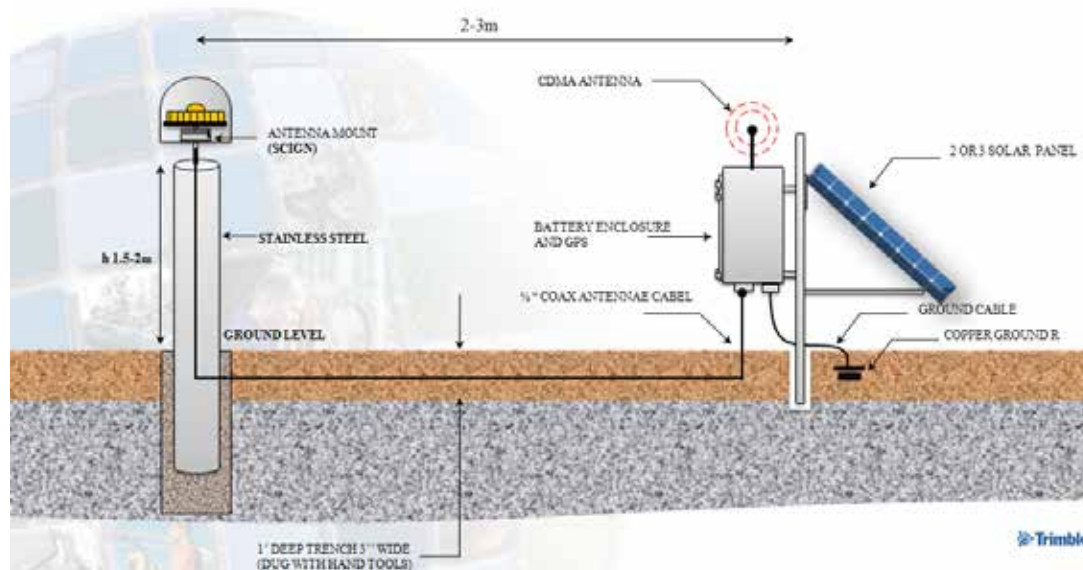


Рис. 2. Структура базисной GPS станции на территории Азербайджана



Рис. 3. GPS-станции на территории Азербайджана

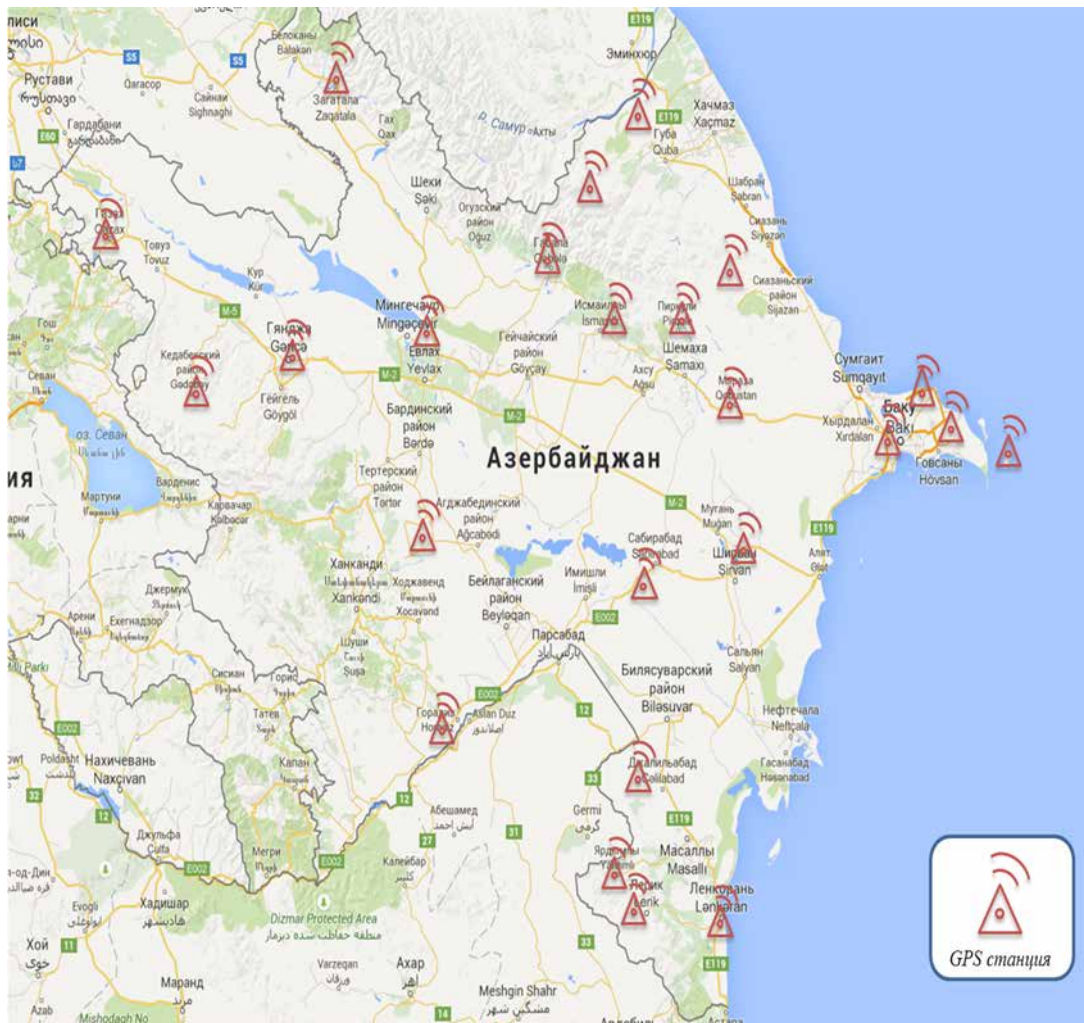


Рис. 4. Сеть GPS-станций Азербайджана

Таблица 1.

Основные параметры GPS станций Азербайджана

№	Название региона	Код станций GPS	Координаты			Марка антенны	ДД.ММ.ГГГГ
			φ°, E	λ°, N	Высота WGS 84 (км)		
1	Нардаран	NRDG	40.341	49.597	0.013	Choke Ring	15.09.2012
2	Пиркули	PQLG	40.789	48.593	1.48	Choke Ring	14.12.2012
3	Габала	QBLG	40.946	47.837	0.678	Choke Ring	12.03.2013
4	Гусар	QSRG	41.515	48.263	0.62	Choke Ring	07.12.2012
5	Газак	QZXG	41.058	45.372	0.564	Choke Ring	21.06.2013
6	Хыналык	XNQG	41.18	48.14	1.985	Choke Ring	07.12.2012
7	Гобустан	GOBG	40.401	49.733	0.158	Choke Ring	17.09.2012
8	Исмаилы	IMLG	40.793	48.182	0.726	Choke Ring	15.12.2012
9	Алтыгач	ATGG	40.861	48.938	1.138	Zephyr Geodetic 2	06.12.2012
10	Гала	GALG	40.411	50.155	0.03	Choke Ring	17.09.2012
11	Гобустан	GBSG	40.535	48.942	0.835	Choke Ring	15.12.2012
12	Гедабек	GDBG	40.721	45.754	1.64	Zephyr Geodetic 2	21.06.2013
13	Джалилабад	GLBG	39.243	48.393	0.14	Zephyr Geodetic 2	25.05.2013
14	Ленкорань	LKRG	38.71	48.779	0.052	Zephyr Geodetic 2	25.05.2013
15	Лерик	LRKG	38.644	48.34	1.596	Zephyr Geodetic 2	22.05.2013
16	Ширван	ALIG	39.958	49.006	0.07	Zephyr Geodetic 2	12.06.2013
17	Закатала	ZKTG	41.638	46.622	0.501	Zephyr Geodetic 2	21.06.2013
18	Ост. Жилой	OSZG	40.33	50.59	-0.02	Zephyr Geodetic 2	14.08.2013
19	Агдам	AGDG	40.107	47.11	0.174	Zephyr Geodetic 2	14.08.2013
20	Физули	FZLG	39.46	47.321	0.202	Zephyr Geodetic 2	14.08.2013
21	Ярдымлы	YRDG	38.915	48.218	0.918	Zephyr Geodetic 2	18.08.2013
22	Саатлы	SATG	39.93	48.243	-0.011	Zephyr Geodetic 2	29.10.2013
23	Ганджа	GANG	40,39	46,19	0,5408	Zephyr Geodetic 2	23.11.2016
24	Мингечевир	MNGG	40.47	47.09	0.100	Zephyr Geodetic 2	02.12.2016

ется знак, не должно иметь видимых трещин на внутренних и внешних стенах. Не рекомендуется использовать здания выше двух этажей. Недопустимо использовать деревянные сооружения и конструкции с металлическим каркасом или металлическими несущими стенами (ангары и т.п.). Это позволит минимизировать движение из-за температурного расширения/сжатия и многолучевое распространение.

С учетом геоморфологии, геотектоники, рельефа и учитывая влияние внешних факторов, в различных регионах нашей страны были выбраны места для строительства новых GPS-станций. Эта новая мониторинговая система состоит из 24 GPS-станций фирмы «Trimble» (США) и одной Центральной станции в г. Баку, куда в режиме «online» поступают все данных со всех регионов, где были установлены станции (рис. 4) [Казымов, 2015]. В таблице 1 представлены основные параметры GPS-станций на территории Азербайджана.

В настоящее время только две спутниковых системы обеспечивают полное и бесперебойное покрытие земного шара – GPS и ГЛОНАСС. GPS – принадлежит министерству обороны США. Устройства, поддерживающие навигацию по GPS, являются самыми распространенными в мире. Также известна под более ранним названием NAVSTAR. ГЛОНАСС – принадлежит министерству обороны РФ. Разработка системы официально началась в 1976 г, полное развертывание системы завершилось в 1995 г. В настоящее время на орбите находится 27 спутников, из которых 22 используется по назначению [Спутниковая система навигации].

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Таблица положений всех спутников называется *альманахом*, которым должен располагать любой спутниковый приемник до начала измерений. Каждый спутник передает в своем сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений, на основе альманаха, можно вычислить положение объекта в пространстве. Метод измерения расстояния от спутника до антенны приемника основан на определенности скорости распространения радиоволн. Для осуществления возможности измерения времени распространяемого радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени, используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приемника его часы синхронизируются с системным временем, и при дальнейшем приеме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приема сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приемник вычисляет координаты антенны. Все остальные параметры движения (скорость, курс, пройденное расстояние) вычисляются на основе измерения времени, которое объект затратил на перемещение между двумя или более точками с определенными координатами [Спутниковая система навигации].

GPS исследования на территории Азербайджана

Программное обеспечение для обработки данных с GPS приемников во многих случаях может рассчитывать и выводить на дисплей регистратора планисферы (Sky Plots) с изображением геометрии созвездия спутников. Планисферы представляют собой круг, на котором изображена проекция небесной сферы с маркерами, отображающими видимое положение спутников; спутники у горизонта попадают на край планисферы. Идеальной является конфигурация из четырех спутников, три из которых расположены невысоко над горизонтом симметрично относительно четвертого спутника, находящегося в зените. В этом случае получают наиболее качественные результаты измерений, т.к. любые ошибки определения горизонтальных координат, полученные из одного направления, контролируются измерениями с противоположной стороны, а спутник, расположенный в зените, дает проверку по высоте для трех остальных.

Плохая геометрия будет в том случае, когда все спутники расположены в одной и той же части неба или выстроились в прямую линию. На рис. 5 показана суточная геометрия спутников для станции Физули. Как видно для станций азербайджанской сети наблюдается равномерная геометрия спутников.

Отметим, что первые GPS исследования на территории Азербайджана были начаты еще в 1998 г. Институтом геологии и геофизики НАНА. Известно что, Азербайджан расположен вдоль северной части зоны коллизии Аравийской и Евразийской плит и включает в себя юго-восточные окончания Большого и Малого Кавказа межгорную Куринскую депрессию и юго-западную часть Каспийского моря. Поле GPS-скоростей в зоне коллизии Аравийской и Евразийской плит хорошо моделируется системой блоков и плит с небольшими внутренними деформациями, разделенные разломами, в которых проявляются межблоковые движения [Кадыров и др., 2015]. Деформация в зоне коллизии является комплексной так как включает

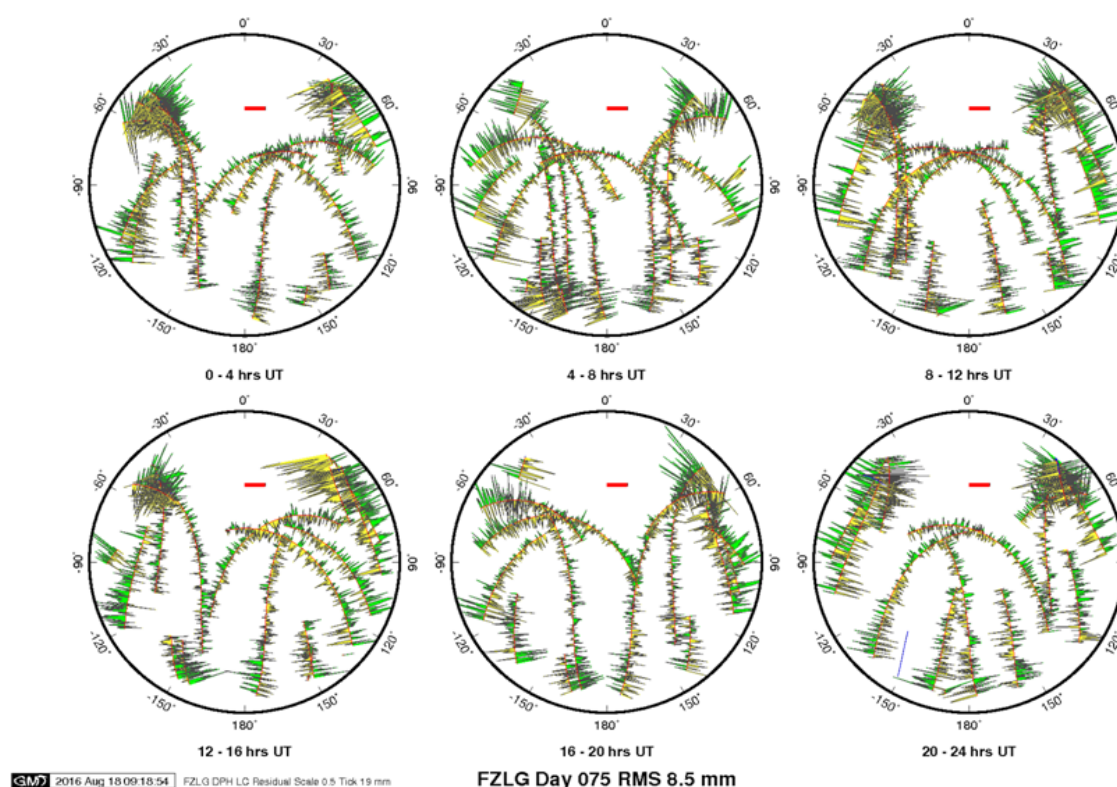


Рис. 5. Суточная геометрия спутников для станции Физули

вращения блоков земной коры по разломам. Как указано в работе [Кадыров и др., 2015] большинство деформаций в зоне коллизии плит происходит в трех регионах, отличающихся высокой сейсмичностью, а именно, с юга на север: Битлис-Загросский сгиб и надвиговый пояс, Эльбрус-Копетдаг, горы Большого Кавказа и центральная часть Каспийского моря, которая является Каспийской сейсмической зоной. Основная зона горизонтального сокращения приурочена к западу от этой северной зоны, где Главный Кавказский надвиг является доминирующей структурой. К югу от Главного Кавказского надвига конвергенция плит преимущественно компенсируется боковым перемещением земной коры из зоны конвергенции. Анализ временных рядов GPS-станций за 2015–2016 гг. показал тенденцию направления движения территории Азербайджана в ССВ направлении (рис. 6).

Картируя полученные данные нами было подсчитано изменение скорости перемещения основных структур на территории Азербайджана за 1 месяц. Было установлено, что для территории Большого и Малого Кавказа в направлении ССВ значение скорости меняется в пределах 1,5–2,0 мм, для территории Куринской впадины в интервале 1,0–1,5 мм в СВ направлении (рис. 7). Из анализа рис. 7 следует, что, хотя доминирующим режимом является сжатие, деформации земной коры территории Азербайджана распределены неравномерно.

На основе анализа GPS данных за 2015–2016 гг. на программе GAMIT [Herring et al., 2010] была построена карта векторов скоростей на 22 станциях (рис. 8). Наблюдения проводились сотрудниками отдела «Геодинамика» РЦСС. Максимальное значение скорости деформации (порядка в год) наблюдается в районе Гобустана и Нижнекуруинской впадины. Нужно отметить, что в районе Гобустана, Алтыгач, а также для станций на Апшеронском полуострове наблюдается резкое изменение

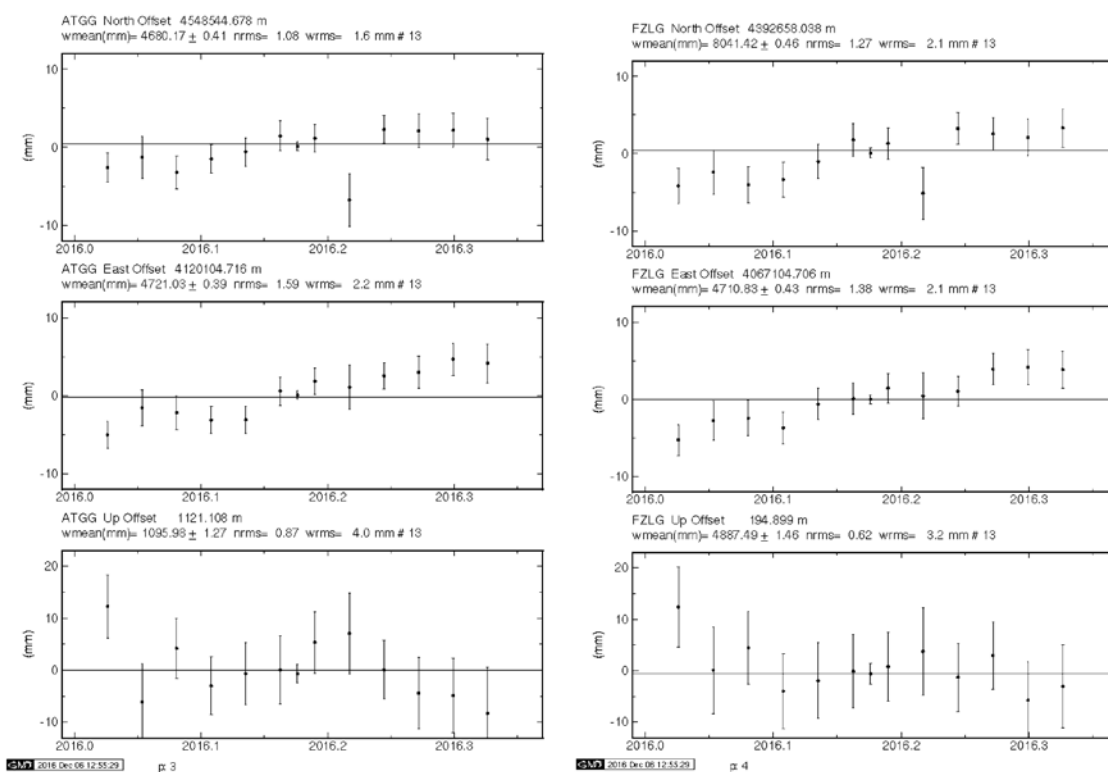


Рис. 6. Временные ряды GPS-станций РЦСС НАНА за 2016 г.

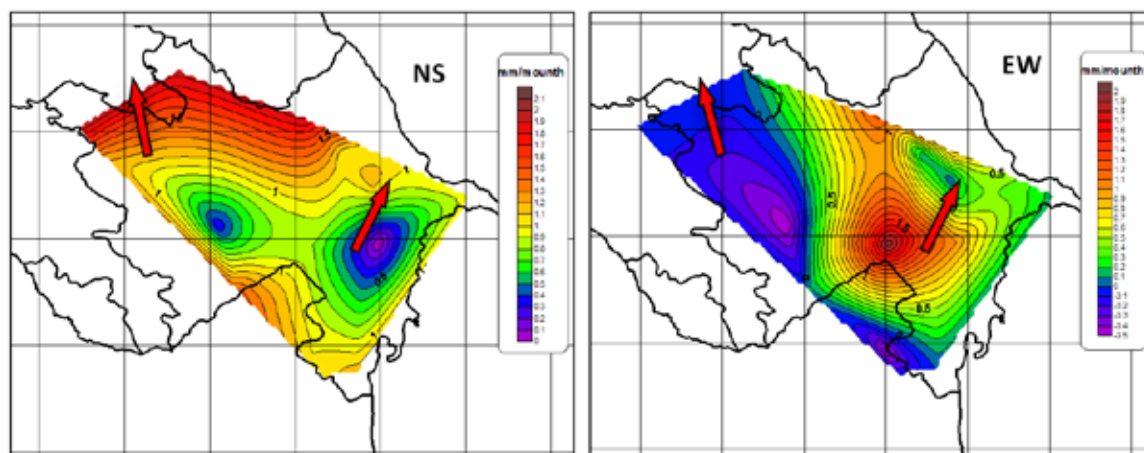


Рис. 7. Изменение скорости перемещения основных структур на территории Азербайджана за 1 месяц

векторов на ВСВ. На Большом и Малом Кавказе движение земной коры в регионе происходит в направлении Ю-СВ. В среднем по всему Азербайджану значение скоростей составляет 10 мм в год. Однако отмечается относительное повышение в районе Имишли, Саатлы, Загатал и Агдама. Можно предположить что, данное дифференциальное движение является результатом сейсмических событий произошедших в данных регионах за последние 2 года.

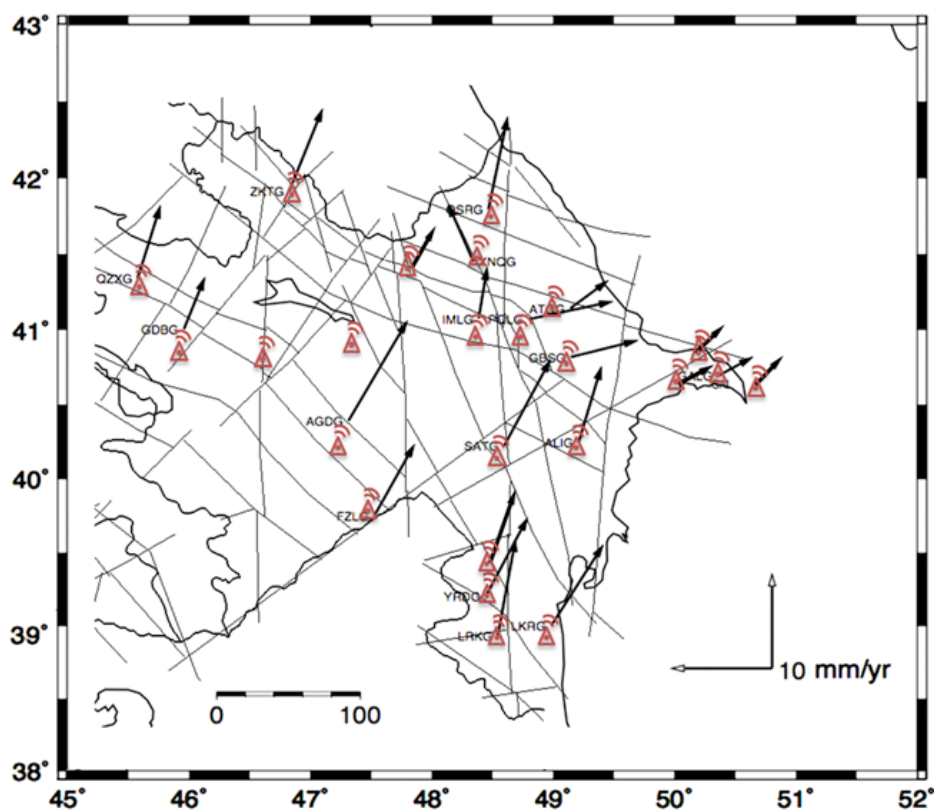


Рис. 8. Карта векторов скоростей на 22 GPS станциях Азербайджана

Выводы

В данной статье исследовано влияние конфигурации элементов геодезической сети Азербайджана на результаты определения компонент деформации земной поверхности. Изучение современных движений и деформаций, происходящих на территории Азербайджана позволяет выявить неоднородный характер деформационного поля региона. Это в основном связано с блочной моделью строения региона. На основе анализа GPS данных за 2015–2016 гг. на программе GAMIT установлено, что в среднем по всему Азербайджану значение скоростей составляет 10 мм в год. Максимальное значение скорости деформации (порядка в год) наблюдается в районе Гобустана и Нижнекуруинской впадины. Нужно отметить, что в районе Гобустана, Алтыгач, а также для станций на Апшеронском полуострове наблюдается резкое изменение векторов на ВСВ.

Литература

1. Воробьева А. А. Дистанционное зондирование земли // Учебно-методическое пособие. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 13.
2. Губин В. Н. Спутниковые технологии в геодинимике // Монография под ред. В. Н. Губина. – Минск: Минсктипроект, 2010. – 87 с., с. 3.
3. Кадыров Ф. А., Мамедов С. К., Сафаров Р. Т. Исследование современной геодинимической ситуации и опасности землетрясений деформации земной коры территории Азербайджана по 5-летним GPS- данным // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. – Обнинск, 2015. – С. 156–162.

4. Казымов И. Э. Геодинамика Апшеронского полуострова // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. – Обнинск, 2015. – С. 163–166.

5. Красноперов Р. И. Анализ сеймотектонических движений земной коры по данным наблюдений глобальных навигационных спутниковых систем, Диссертация. – Москва, 2015. – 150 с.

6. Спутниковая система навигации. <https://ru.wikipedia.org/>

7. Техническое описание сетей референчных станций. <http://ansol.su/geo/g-bnets/page,1,83-tehnicheskoe-opisanie-setey-referencyh-stanciy.html>

8. Herring T. A., King R. W., McClusky S., Introduction to GAMIT/GLOBK, release 10.4. – Mass. Inst. Of Tech., 2010. – 48 p.

DOI: 10.23671/VNC.2017.1.9484

GENERAL PRINCIPLES OF PROCESSING OF SATELLITE MEASUREMENTS BY NETWORK GPS STATIONS OF AZERBAIJAN

**© 2017 I. E. Kazimov, Sc. Candidate (Geol.-Min.), Z. S. Rakhimly,
S. S. Yuzbashiyeva**

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center,
Azerbaijan, 1001, Baku, str. Guseyn Javid, 123, e-mail: sabina.k@mail.ru

This paper presents the main aspects of the methods of geodynamic studies in the territory of Azerbaijan. Presented the history of development of GPS network of Azerbaijan. As a result, the obtained data for two years 2015–2016 was found the existing distribution of velocity contributes to the accumulation of stress along the Main Caucasus thrusts of various sizes which can be the affect on seismic regime of the investigated region.

Keywords: Geodynamic processes, the earth's crust, GPS-measurement.