

ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24:031.1 (479.24)

DOI: [10.23671/VNC.2019.3.36484](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36484)

Оригинальная статья

Динамика Саатлинской сверхглубокой
GPS (SATG) – станции

И. Э. Казымов, к. г.-м. н.

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

Статья поступила: 6 сентября 2019, доработана: 16 сентября 2019, одобрена в печать: 24 сентября 2019.

Аннотация: Актуальность работы. Изучение динамики движения и взаимодействия плит, а также реологии континентальной литосферы является одной из важных фундаментальных проблем активной геотектоники. **Целью работы** являлось изучение геодинамики Саатлинского региона (Азербайджан) и сопоставление результатов, полученных за периоды 2015-2017 гг. на Саатлинской сверхглубокой скважине. Причиной сравнения этих периодов является их различная продолжительность. **Методы исследования:** методы космической геодезии. Данные GPS станций позволяют вести контроль азимутальной направленности скважины, пространственное положение ствола, определить параметры горизонтального смещения тектонических блоков, причину как вертикального, так и горизонтального смещения скважины. **Результаты работы.** В статье представлена методика расчета скоростей современных горизонтальных смещений земной коры вдоль Саатлинского региона за период 2015-2017 гг. в целом так и за 2015, 2016, 2017 гг. в отдельности. Почти все GPS-станции (особенно их U-компонента) представляют не только линейные вариации, но также значительные нелинейные вариации в отношении сезонных сигналов (определяемых как годовые плюс полугодовые вариации). Линейные вариации могут быть хорошо объяснены как движение пластины, тогда как можно объяснить только часть нелинейных изменений. Методы измерения скоростей вертикальных и горизонтальных перемещений предусматривают изначально получение абсолютных значений горизонтальной компоненты запад-восток, север-юг точки измерения. Особенность метода GPS состоит в том, что технически и технологически система позволяет оценивать очень малые изменения координат в фазовом методе измерений, что достигается высокой точностью и стабильностью атомных часов системы. По данным программных пакетов GAMIT/GLOBK была вычислена скорость совместного сейсмического перемещения, связанного с сейсмическим событием. Результаты анализа показали, что восточный от станции SATG_GPS блок перемещается на северо-восток со средней скоростью примерно 3-14 мм/г, тогда как западный блок смещается тоже на северо-восток, но со скоростью около 11-15 мм/г. Таким образом, была получена схема смещения базовой станции SATG_GPS Саатлинского региона. **Практическая значимость** работы. Прогноз тектонических движений и сейсмичности.

Ключевые слова: горизонтальные движения плит, геодинамика, GPS-станции, сверхглубокие скважины

Для цитирования: Казымов И. Э. Динамика Саатлинской сверхглубокой GPS (SATG) – станции. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9 (3): 94-104. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36484.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: [10.23671/VNC.2019.3.36484](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36484)

Original paper

Dynamics of the Saatli Superdeep
GPS (SATG) – Station

I. E. Kazimov

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center, 123
Guseyn Javid Str., Baku1001, Azerbaijan, e-mail: sabina.k@mail.ru*Received 6 September 2019; revised 16 September 2019; accepted 24 September 2019.*

Abstract: Relevance. The study of the dynamics of movement and interaction of plates, as well as the rheology of the continental lithosphere, is one of the important fundamental problems of active geotectonics. **Aim.** The study of the Saatli region (Azerbaijan) geodynamics and the comparison of the results obtained for the periods 2015–2017 on the Saatli superdeep well. The reason for comparing these periods is their different duration. **Research methods:** methods of space geodesy. GPS stations` data allows monitoring the azimuthal direction of the well, the spatial position of the wellbore, determining the parameters of the horizontal displacement of tectonic blocks, the cause of both vertical and horizontal displacement of the well. **Results.** A methodology for calculating the velocities of modern horizontal displacements of the Earth's crust along the Saatli region for the period 2015–2017 as a whole and for 2015, 2016, 2017 separately is presented in the article. Almost all GPS stations (especially their U-component) represent not only linear variations, but also significant non-linear variations with respect to seasonal signals (defined as annual plus half-yearly variations). Linear variations can be well explained as the plate movement, while only a fraction of non-linear changes can be explained. The methods for measuring the velocities of vertical and horizontal movements initially provide obtaining the absolute values of the horizontal component west-east, north-south of the measurement point. The feature of the GPS method consists in the fact, that technically and technologically, the system allows evaluating very small changes in the coordinates in the phase measurement method, which is achieved by a high accuracy and stability of the atomic clock of the system. Using the GAMIT / GLOBK software packages, the joint seismic displacement velocity associated with the seismic event was calculated. The analysis showed that the east block from the SATG_GPS station moves to the northeast at an average speed of about 3–14 mm / year, while the western block also moves to the northeast, but at a speed of about 11–15 mm / year. Thus, the bias scheme of the base station SATG_GPS of the Saatli region was obtained. **Practical significance.** Prediction of tectonic movements and seismicity.

Keywords: horizontal plate movements, geodynamics, GPS stations, superdeep well.

For citation: Kazimov I.E. Dynamics of the Saatli Superdeep GPS (SATG)-Station. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. 9(3): 94–104. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36484.

Введение

Саатлинская сверхглубокая скважина СГ-1 была спроектирована в период СССР в соответствии с программой сверхглубокого бурения, проводимой Министерством Геологии СССР. Проектная глубина СГ-1 была предусмотрена 15 км. Место расположения город Саатлы, в 10 км к югу от гравитационного максимума Саатлы – Кюрдамир, где глубина поверхности предполагаемого «базальтового слоя» консолидированной коры оценивалась в 6–7 км, по данным глубинного сейсмического зондирования (DSS) с применением отраженных и преломленных (дифрагированных) волн. Бурение началось в 1977 году, и по техническим причинам было остановлено в 1982 году при глубине забоя скважины 8324 м. (рис. 1).

Несмотря на то, что Саатлинская скважина не достигла проектной глубины 15 км, вскрытый ею разрез дал много нового для понимания глубинного строения Кавказа и истории его развития. Прежде всего удалось установить, что территория Куринской впадины в



Рис. 1. Саатлинская сверхглубокая скважина. /
Fig. 1. Saatli superdeep well.

Таблица. 1. / Table 1.

**Разрез прослеженный скважиной СГ-1. /
The section traced by Well SG-1.**

№	Породы / Rocks	Стратиграфический период / Stratigraphic period	Глубина / Depth
1	галечники, гравелиты, суглинки, супеси, песчаники / Gravel, Gravelite, Loam, Sandy loam, Sandstone	Четвертичный период / Quaternary period	860 м
2	глины, песчаники / Clays, Sandstone	Абшеронский ярус / Absheron tier	1070 м
3	глины, алевролиты / Clays, Siltstones	Агчагыльский ярус / Agchageldi tier	320 м
4	глины, песчаники, алевролиты / Clays, Sandstone, Siltstones	Балакенский ярус / Balaken tier	530 м
5	глины, песчаники, карбонатные породы / Clays, Sandstone, Carbonate rock	Поздний миоцен, Сармат / Late Miocene, Sarmatian	50 м
6	известняки с sillами базальтов / Limestones with basalts forces	Ранний мел – Поздняя юра / Early Cretaceous-Late Jurassic	710 м
7	базальты с долеритами / Basalts with dolerite	Средняя юра / Middle Jurassic	1310 м
8	андезито-базальты и андезиты с микро-долеритами / Andesite-basalts and andesites with micro-dolerites	Нижняя юра / Lower Jura	1950 м
9	андезито-дациты, дациты, риодациты, плагио-риолиты с sillами микродолеритов / Andesite-dacites, dacites, riodacite, playability with sills of microdeletion	Юра / Jura	1524 м
Общая толщина разреза / The total thickness of the section: 8324 м			

мезозое представляла собой море, на дне которого шли бурные вулканические процессы. Огромные массы вулканических продуктов образовали сначала подводные горы, которые затем поднялись над водой и превратились в цепь вулканических островов – островную дугу. Она протягивалась примерно с юга на север в том же направлении, в котором и до настоящего времени геофизики устанавливают крупную глубинную аномалию в строении земной коры. Данные по сверхглубоким скважинам дают уникальную информацию о строении континентальной коры (табл. 1). На сегодняшний день Саатлинская сверхглубокая скважина СГ-1 занимает 8 место в списке самых глубоких скважин мира [Самые глубокие скважины мира, 2015; Thatcher, 2004].

Геодинамика

Начиная с 2012-2017 гг. с целью исследования современных движений на территории Азербайджана отделом Геодинамика Республиканского центра сейсмологической службы была установлена геодезическая сеть GPS/ГЛОНАСС, непрерывно регистрирующая станции GPS-наблюдений. Регулярные наблюдения ведутся с 2013 г. Станции оснащены приемниками TrimbleNetR9 (24) L1/L2 GPS/GLONASS/Galileo, а так же антеннами Choke Ring (10) и Zephyr geodetic² (9).

Изучение динамики движения и взаимодействия плит (т.е. первичных сил, действующих на плиты), а также реологии континентальной литосферы является одной из важных фундаментальных проблем активной геотектоники [Wessel, Smith, 1991; www.unavco.org] В настоящее время в науках о Земле господствует концепция тектоники литосферных плит. Согласно представлениям этой концепции, формирование внутренней тектонической структуры подвижных поясов (типа Альпийско-Гималайского пояса) и подвижных сооружений определяется сближением литосферных плит. Применительно к Большому Кавказу эта точка зрения подразумевает в качестве источника его деформирования приближение в субмеридиональном направлении Аравийской литосферной плиты к смежной окраине восточноевропейской части Евразийской плиты. Сближение этих плит установлено в результате GPS измерений [Thatcher, 2004; www.masterok.livejournal.com]. Предполагается, что в результате этих горизонтальных смещений кавказский сегмент Альпийско-Гималайского подвижного пояса сжимается, слои осадочных и вулканических пород сминаются в складки, блоки основания испытывают разнонаправленные смещения, а верхние горизонты коры нарушаются взбросами и надвигами. Некоторые исследователи полагают, что воздействие северного дрейфа Аравийской плиты сказывается на распределении горизонтальных напряжений в пределах Евразийской плиты на расстояние до полутора – двух тысяч километров от южного края последней [Leick, 1944; Hofmann-Wellenhof et al., 1992-1994, 2001; Седов, 1972; Шебашевич и др., 1993; Teunissen, Kleusberg, 1998; Wright et al., 2004; www.unavco.org].

Методика исследований.

Временные вариации координат глобальной системы позиционирования (GPS) широко используются при изучении высокоточной геодезии и геодинамики, таких как создание и обслуживание наземных систем отсчета, а также для мониторинга деформации земной коры. Почти все GPS-станции (особенно их U-компонента) представляют не только линейные вариации, но также значительные нелинейные вариации в отношении сезонных сигналов (определяемых как годовые плюс полугодовые вариации), наложенные против приблизительно мощности полосный фон. Линейные вариации могут быть хорошо объяснены как движение пластины, тогда как можно объяснить только часть нелинейных изменений. Фактически, нелинейные вариации были в основном вызваны неопознанными внутренними ошибками, связанными с техникой GPS и внешними немоделированными геофизи-

ческими эффектами. Более того, это станет препятствием для анализа временных рядов и препятствует разделению немоделированных геофизических эффектов от нелинейных изменений. В качестве одного из основных источников ошибок GPS-позиционирования ионосферные задержки играют очень важную роль в обработке данных. Поскольку трудно точно моделировать затухание ионосферы, для предотвращения эффектов ионосферных задержек практически во всех программах обработки GPS-данных всегда используется линейная комбинация без ионосферы (LC), включая GAMIT [Воробьев, 2012; Губин, 2010; Казымов, 2015; Кадыров и др., 20105].

В статье представлена методика расчета скоростей современных горизонтальных смещений земной коры Саатлинского региона за период 2015-2017 гг. как в целом, так и за 2015-2017 гг. в отдельности, полученные по результатам наблюдений на станции SATG_GPS (рис. 2) [Красноперов, 2015; <http://ansol.su>]. Технические характеристики Базовой GPS станции указаны в таблице 2. Скорости показаны в фиксированной системе отсчета Евразии, определяемой минимизацией движений для станций SATG_GPS, которые наблюдались и широко распределены по евразийской плите. Оценка скорости станции проводилась за период 3-х летней эксплуатации (установленной в 2013 году).

Таблица 2. / Table 2.

**Базовые элементы SATG_GPS-станции. /
The basic elements of a SATG_GPS station.**

GPS приемник Trimble NetR9 / GPS receiver Trimble NetR9	Антенна Zephyr Geodetic ² / Antenna Zephyr Geodetic ²
<p>Число каналов слежения / Number of tracking channels: 440</p> <p>Объем памяти / Memory capacity: 8 GB (1 TB)</p> <p>Максимальный темп записи / Maximum recording rate: 50Hz</p> <p>Форматы файлов / File formats: T02, RINEX v².11, RINEX v³.0, BINEX, Google Earth KMZ</p> <p>Поддержка интерфейсов / Interface support: Bluetooth®, Ethernet, RS232 и USB</p> <p>Одновременное слежение за спутниковыми сигналами / Simultaneous tracking satellite signals: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Compass, QZSS.</p> <p>Габаритные размеры / Overall dimensions: 25,6 cm × 13,0 cm × 5,5 cm ×</p> <p>Вес / Weight: 1,75 kg</p> 	<p>Частоты: L1/L2/L5/G1/G2/OmniSTAR SBAS/E1/E2/E5ab/E6</p> <p>Питание / Power supply: постоянное напряжение / constant voltage 3,3-12 V, ток до 100 mAh.</p> <p>Схема подачи питания: 4-х точечная / Power supply circuit: 4-point</p> <p>Стаб. фазового центра / Stab. phase center: <2 mm.</p> <p>Коэффициент усиления / Gain: 50 дБ по частоте / 50 dB in frequency</p> <p>L1, 50 дБ по частоте L2. / L1, 50 dB in frequency L2.</p> <p>Вибропрочность / Vibration resistance: стандарт MIL-810-F, глава 514.5с-17 (уровень вибрации по каждой оси) / mil-810-F standard, Chapter 514.5 с-17 (vibration level on each axis).</p> <p>Габаритные размеры / Overall dimensions: ø34,3 cm × 7,9 cm.</p> <p>Вес / Weight: 1,36 kg.</p> 

Геодезические координаты SATG_GPS станции были уточнены и обработаны на сервере службой обработки GPS AUSPOS (версия: AUSPOS 2.2) (рис. 3).



Рис. 2. Базовая сверхглубокая SATG_GPS станция Саатлинского региона. /
 Fig. 2. Base super-deep SATG_GPS station of the Saatli region



Рис. 3. Карта с положением GPS_SATG станции. /
 Fig. 3. Map with GPS_SATG station position.

Служба APSPPOS Online GPS Processing Service использует международные продукты GNSS (IGS) (конечные, быстрые, сверхбыстрые в зависимости от доступности) для вычисления точных координат в ITRF в любом месте Земли и GDA94 в Австралии. Услуга предназначена для обработки только двухфазных данных фазы GPS. [Милюков и др., 2015; AUSPOS-Online GPS; Herring et al., 2010]. При уточнении координат SATG_GPS станции в данном исследовании были добавлены данные 14 близкорасположенных опорных станций сети IGS.

Географическое расположение станции на основе координат рассчитанных на сервере службой обработки GPS AUSPOS показано на рисунке 4.

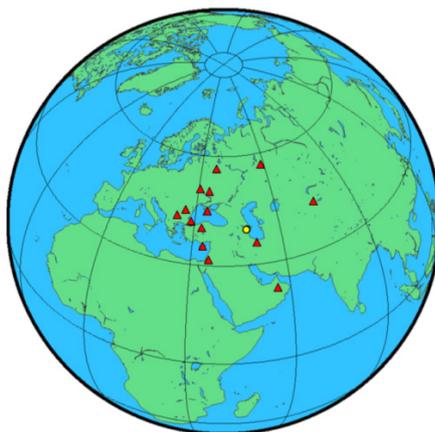


Рис. 4. Пространственное распределение опорных станций 14 GNSS (IGS) при обработке геодезических координат SATG_GPS. /

Fig. 4. Spatial distribution of the geodetic coordinates of the SATG_GPS 14 GNSS (IGS) station and reference stations during processing

Кроме того были рассчитаны параметры орбитально-земной ориентации SATG_GPS и атмосферных зенитных задержек от двухчастотной станции, показанные на рисунке 5.

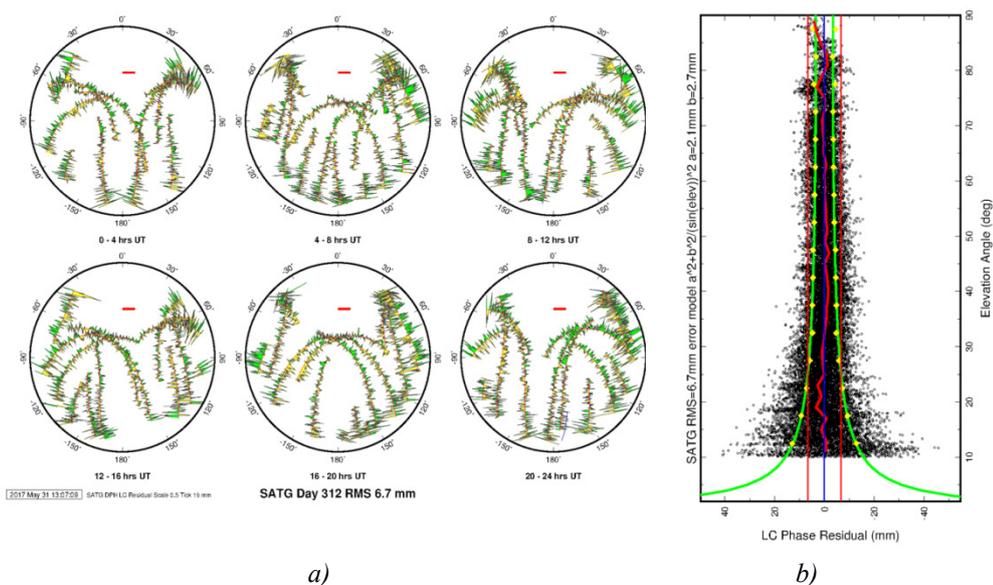


Рис. 5. Параметры орбитально-земной ориентации (Sky Plot) (a) и атмосферных зенитных задержек от двухчастотных GPS-станций (Phase and elevation angle) (b). /

Fig. 5. Parameters of orbital-terrestrial orientation (Sky Plot) (a) and atmospheric zenith delays from dual-frequency GPS stations (Phase and elevation angle) (b).

Обработка GPS данных выполнялась пакетом программ GAMIT/ GLOBK (фильтр Калмана) 10.6 и TRACK образуют полный набор программ для анализа измерений GPS [McClusky et al., 2000; Reilinger et al., 2006]. Программное обеспечение было разработано Массачусетским технологическим институтом (MIT), институтом океанографии Scripps и Гарвардским университетом.

Все параметры GAMIT настроены для региональной или локальной станций. Вычисленные временные ряды координат станций SATG, показаны на рис. (4,5). Оценки компонент скоростей и векторов горизонтальных движений геодезической сети GPS станций Азербайджана за 2015-2017 гг., приведены в таблице 3.

Таблица 3. / Table 3.

**Расчет горизонтального вектора скорости на GPS_ SATG станции и
Азимутального угла за 2015-2017 гг. /
Calculation of the horizontal velocity vector at the GPS_ SATG station and the
Azimuthal angle for 2015-2017.**

Год / Year	VE mm/g	VN mm/g	E± mm/g	N± mm/g	Н высота, mm/g / H Height, mm/g	±	AZM, °	V скорость, mm/g / V Speed, mm/g
2015	4,9	9,51	0,41	0,81	10,19	1,58	22,31	10,7
2016	6,62	9,79	0,38	0,40	-2,29	1,20	34,1	11,8
2017	8,29	11,19	0,51	0,53	11,98	1,68	36,5	14,7
2015-2017	3,98	0,06	11,79	0,07	-5,07	0,22	18,65	12,4

Исследование состоит из двух основных задач. Первая задача включала анализ наблюдений сети GPS в Азербайджане для измерения скорости движения и направления дви-

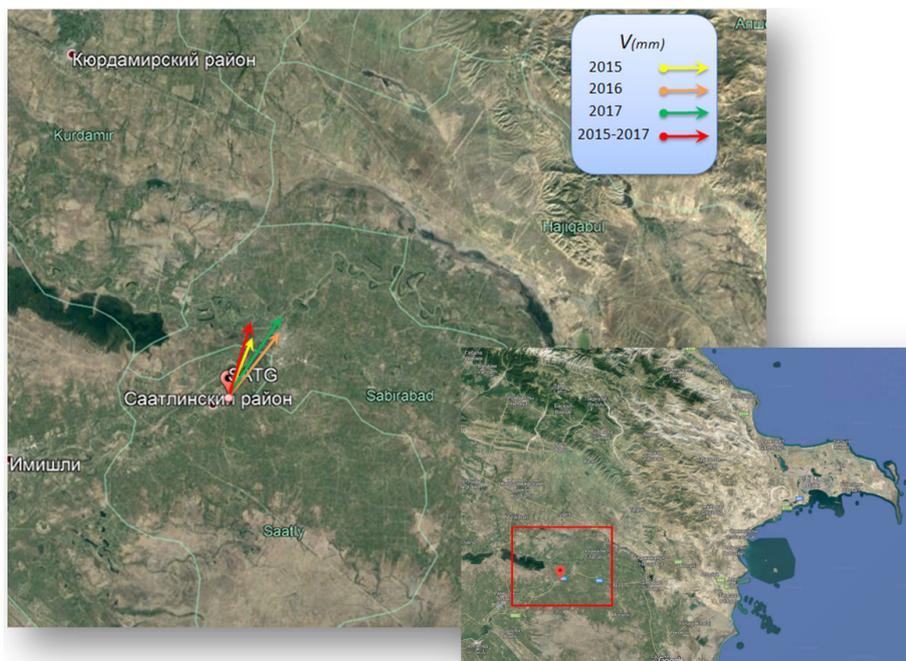


Рис. 6. Схема вектора горизонтального смещения базовой Саатлы GPS_ SATG станции за период 2015-2017 гг. /

Fig. 6. Scheme of the horizontal displacement vector of the base Saatli GPS_ SATG station for the period 2015-2017.

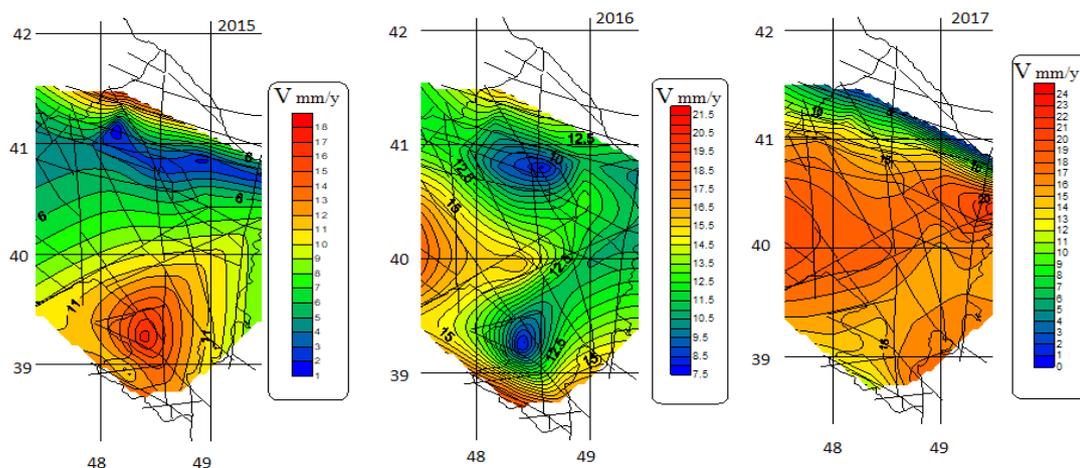


Рис. 7. Пространственное распределение скорости за 2015, 2016, 2017 годы по данным сети 24-х GPS станций РЦСС в зоне Саатлинского района. /

Fig. 7. Spatial distribution of velocity for 2015, 2016, 2017 according to a network of 24 GPS stations of the RCSS in the Saatli region.

жения для каждой станции GPS с использованием программных пакетов GAMIT/GLOBK [Conrad, 2004; Herring, 2003; McClusky et al., 2000; Reilinger et al., 2006; Tapponnier et al., 2001]. Вторая задача – исследовать скорость совместного сейсмического перемещения, связанного с событием землетрясения, используя программу кинематического позиционирования TRACK. Результаты анализа показывают, что восточная сторона движется на северо-восток со средней скоростью примерно 3-14 мм/г, тогда как западная сторона разлома движется на северо-восток со скоростью около 11-15 мм/г.

Таким образом, была получена схема изменения направления смещения базовой станции SATG_GPS Саатлинского региона (рис. 6, 7).

Выводы

Оценки скоростей, полученные в ходе проведенных геодезических работ, показывают, что есть общее небольшое сжатие в СВ направлении Саатлинской скважины со скоростью порядка 10 мм/год. Данный результат подтверждает существующую точку зрения, что источником деформирования Саатлинского региона является приближение в субмеридиональном направлении Аравийской литосферной плиты к смежной окраине Восточно-Европейской части Евразийской литосферной плиты, что было установлено в результате предыдущих GPS измерений. Эта концепция сближения предполагает, что в результате кавказский сегмент Альпийско-Гималайского подвижного пояса сжимается, слои осадочных и вулканических пород сминаются в складки, блоки основания испытывают разнонаправленные смещения, а верхние горизонты коры нарушаются взбросами и надвигами. Для выявления более детальной геодинамической картины строения региона требуется развитие более плотной геодезической сети, позволяющей отслеживать не только крупномасштабные горизонтальные и вертикальные движения региона, но и реализовывать региональный уровень наблюдений.

Отметим что, Кавказские горы являются результатом продолжающегося столкновения между Аравийской и Евразийской плитами. Иранская плита, сжимаемая между Аравийской и Евразийской плитами, также кажется, играет роль, когда евразийская пластина вращается по часовой стрелке к ней.

Литература

1. Воробьева А.А. Дистанционное зондирование земли. / Учебно-методическое пособие. – СПб: СПбУ ИТМО, 2012. – С. 13.
2. Губин В.Н. Спутниковые технологии в геодинатике. // Монография под ред. В.Н. Губина. – Минск: Минсктиппроект, 2010. – 87 с.
3. Кадыров Ф.А., Мамедов С.К., Сафаров Р.Т. Исследование современной геодинатической ситуации и опасности землетрясений деформации земной коры территории Азербайджана по 5-летним GPS-данным. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 156-162.
4. Казымов И.Э. Геодинатика Абшеронского полуострова. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 163-166.
5. Красноперов Р.И. Анализ сеймотектонических движений земной коры по данным наблюдений глобальных навигационных спутниковых систем. // диссертация... кандидата физико-математических наук. – М. – 2015. – 150 с.
6. Милуков В.К., Миронов А.П., Рогожин Е.А., Стеблов Г.М. Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS-наблюдениям. // Геотектоника. – 2015. – №3. – С. 56-65.
7. Самые глубокие скважины мира. 18 марта 2015. <https://masterok.livejournal.com/2272055.html>
8. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Том I (изд. второе, исправленное и дополненное). – М.: Наука, 1972. – 536 с.
9. Техническое описание сетей референчных станций. // <http://ansol.su/geo/g-bnets/page,1,83-tehnicheskoe-opisanie-setey-referencnyh-stanciy.html>
10. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П. Иванцевич Н.В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
11. AUSPOS – Online GPS Processing Service. // <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>
12. Conrad C.P. and LithgowBertelloni C. The temporal evolution of plate driving forces: Importance of «slab suction» versus «slab pull» during the Cenozoic. // J. Geophys. Res. – 2004. – Vol. 109. Is. B10407.
13. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/GLOBK. // Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. – 2010. – 48 p.
14. Herring T.A. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Version 10.1 Internal Memorandum. // Massachusetts Institute of Technology. – Cambridge. – 2003.
15. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., and Collins J. GPS Theory and practice (fifth, revised edition). // Springer. Wien, New-York. 1992, 1993, 1994, and 2001. – 383 p.
16. Leick A. GPS satellite surveying (second edition) Department of Surveying Engineering. // University of Main. Orono, Main AWiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, inc. New-York, Chichester, Toronto, Brisbane, Singapore. – 1994. – 560 p.
17. McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksüz M.N., Veis G. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. // J. Geophys. Res. – 2000. – Vol. 105. Is. B3. – Pp. 5695-5719.
18. Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., Ar-Rajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrova A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Gebra Karam. 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. – Vol. 111. Is. B05411.
19. Tapponnier P., Zhiqin X., Roger F., Meyer B., Arnaud N., Wittlinger G., Jingsui Y. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. // Science. – 2001. – Vol. 294. Is. 5547. – Pp. 1671-1677.
20. Teunissen P.J. G., Kleusberg A. GPS for Geodesy. // Springer. – 1998. – 650 p.
21. Thatcher W. GPS constraints on the kinematics of continental deformation // International Geology Review. – 2003. – Vol. 45. – Pp. 191-212.
22. Wright T.J., Parsons B., England P.C., Fielding E.J. InSAR observations of low slip rates on the major faults of western Tibet. // Science. – 2004. – Vol. 305. Is. 5681. – Pp. 236-239.
23. <http://www.unavco.org/software/visualization/GPS-Velocity-Viewer/GPS-Velocity-Viewer.html>

References

1. Vorob'eva A.A. Remote sensing of the earth. Teaching aid. St. Petersburg: St Petersburg University ITMO, 2012. 13 p. (In Russ.)
2. Gubin V.N. Satellite technologies in geodynamics. Monograph ed. V.N. Gubina. Minsk, Minsktipproekt, 2010. 87 p. (In Russ.)
3. Kadyrov F.A., Mamedov S.K., Safarov R.T. The study of the current geodynamic situation and the danger of earthquakes deformation of the earth's crust in Azerbaijan using 5-year GPS data. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Obninsk, GS RAS, 2015. pp. 156–162. (In Russ.)
4. Kazymov I.E. Geodynamics of the Absheron Peninsula. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Obninsk, GS RAS, 2015. pp. 163–166. (In Russ.)
5. Krasnoperov R.I. Analysis of seismotectonic movements of the earth's crust according to observations of global navigation satellite systems. Dissertation ... candidate of physical and mathematical sciences. M. 2015. 150 p. (In Russ.)
6. Milyukov V.K., Mironov A.P., Rogozhin E.A., Steblov G.M. Estimates of the modern movements speeds of the North Caucasus from GPS observations. *Geotectonics*. 2015. No. 3. pp. 56–65. (In Russ.)
7. The deepest wells in the world. March 18, 2015. <https://masterok.livejournal.com/2272055.html> (In Russ.)
8. Sedov L.I. Continuum mechanics. Vol. I (Second edition, revised and corrected). M. Nauka, 1972. 536 p. (In Russ.)
9. Technical description of reference station networks. <http://ansol.su/geo/g-bnets/page,1,83-tehnicheskoe-opisanie-setey-referencnyh-stanciy.html> (In Russ.)
10. Shebshaevich V.S., Dmitriev P.P. Ivantsevich N.V. et al. Network satellite radio navigation systems. M. Radio and communications, 1993. 408 p. (In Russ.)
11. AUSPOS – Online GPS Processing Service. <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>
12. Conrad C.P. and LithgowBertelloni C. The temporal evolution of plate driving forces: Importance of "slab suction" versus "slab pull" during the Cenozoic. *J. Geophys. Res.* 2004. Vol. 109. Issue B10407.
13. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/GLOBK. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. 2010. 48 p.
14. Herring T.A. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Version 10.1 Internal Memorandum. // Massachusetts Institute of Technology. – Cambridge. – 2003.
15. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., and Collins J. GPS Theory and practice (fifth, revised edition). Springer. Wien, New-York. 1992, 1993, 1994, and 2001. 383 p.
16. Leick A. GPS satellite surveying (second edition) Department of Surveying Engineering. University of Main. Orono, Main AWiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, inc. New-York, Chichester, Toronto, Brisbane, Singapore. 1994. 560 p.
17. McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksüz M.N., Veis G. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res.* 2000. Vol. 105. Is. B3. pp. 5695–5719.
18. Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., Ar-Rajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Gebran Karam. 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. Vol. 111. Issue B05411.
19. Tapponnier P., Zhiqin X., Roger F., Meyer B., Arnaud N., Wittlinger G., Jingsui Y. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *Science*. 2001. Vol. 294. Issue 5547. pp. 1671–1677.
20. Teunissen P.J.G., Kleusberg A. GPS for Geodesy. Springer. 1998. 650 p.
21. Thatcher W. GPS constraints on the kinematics of continental deformation. *International Geology Review*. 2003. Vol. 45. pp. 191–212.
22. Wright T.J., Parsons B., England P.C., Fielding E.J. InSAR observations of low slip rates on the major faults of western Tibet. *Science*. 2004. Vol. 305. Issue 5681. pp. 236–239.
23. <http://www.unavco.org/software/visualization/GPS-Velocity-Viewer/GPS-Velocity-Viewer.html>