

УДК 528.2

**О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ И ПЕРСПЕКТИВАХ
ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДВИЖЕНИЙ
ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Р.А. Кащеев, В.Ф. Бахтияров, Р.В. Загреддинов, Р.В. Комаров

Аннотация

Рассмотрены результаты обработки спутниковых измерений, выполненных в 2008–2009 гг. на 5 референчных геодезических станциях. Получены величины и направления векторов векового смещения станций вследствие глобального дрейфа Евроазиатской литосферной плиты. Обозначены перспективы создания на территории Республики Татарстан геодезической сети 25 базовых (референчных) станций глобальных навигационных спутниковых систем.

Ключевые слова: референчные станции, глобальные навигационные спутниковые системы, спутниковые технологии, геодинамический мониторинг.

Применение современных технологий оперативного определения пространственного положения геодезических пунктов спутниковыми методами открывает широкие возможности для осуществления проектов геодинамического мониторинга движений земной коры на территории исследуемого региона. Результаты реализации таких проектов представляют несомненный научный и практический интерес как с точки зрения формирования пространственно-временной модели геодинамических процессов, так и для прогнозирования обусловленных указанными процессами негативных событий и ситуаций.

Силами сотрудников, студентов и выпускников кафедры астрономии и космической геодезии Казанского университета на нескольких геодинамических полигонах и геодезических пунктах, расположенных на территории Республики Татарстан (РТ), в течение последних десяти лет выполнены сессии высокоточных спутниковых измерений, по результатам которых построены модели фигуры локального квазигеоида и начато изучение динамики земной коры территории РТ [1–3]. Содержание настоящей статьи составляет описание некоторых результатов спутникового позиционирования, полученных в 2008–2009 гг., а также обсуждение перспектив реализации проекта создания республиканской сети базовых (референчных) станций глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), обеспечивающих развертывание регионального постоянно действующего высокоточного координатно-временного навигационного поля.

Табл. 1

Смещения базовых станций геодезической сети РТ

Пункт	Направление	Вековая составляющая, мм/год	Годовая составляющая, мм	Полугодовая составляющая, мм	СКО, мм
KAZN	<i>N</i>	9.50 ± 0.11	1.30 ± 0.07 (фаза 0.82)	0.33 ± 0.09 (фаза 1.09)	1.39
	<i>E</i>	25.34 ± 0.10	1.06 ± 0.08 (фаза 0.26)	0.36 ± 0.07 (фаза 0.91)	1.5
	<i>H</i>	4.30 ± 0.36	3.58 ± 0.27 (фаза 0.36)	1.36 ± 0.26 (фаза 1.11)	4.94
	<i>T(K)</i>	2008.0041 – 2009.99863 (722)			
MAKT	<i>N</i>	8.93 ± 0.25	0.40 ± 0.11 (фаза 1.12)	0.70 ± 0.12 (фаза 0.99)	1.53
	<i>E</i>	25.96 ± 0.24	0.46 ± 0.11 (фаза 0.79)	0.23 ± 0.11 (фаза 0.94)	1.41
	<i>H</i>	-12.54 ± 0.93	1.32 ± 0.43 (фаза 0.85)	1.32 ± 0.43 (фаза 0.85)	5.45
	<i>T(K)</i>	2008.93033 – 2009.99863 (353)			
ELAB	<i>N</i>	6.54 ± 0.59	1.12 ± 0.21 (фаза 0.20)	0.76 ± 0.23 (фаза 1.05)	2.21
	<i>E</i>	20.90 ± 0.56	0.79 ± 0.20 (фаза 0.75)	0.68 ± 0.16 (фаза 0.96)	1.89
	<i>H</i>	9.35 ± 1.56	1.56 ± 0.56 (фаза 0.71)	0.14 ± 0.46 (фаза 1.11)	4.76
	<i>T(K)</i>	2009.07514 – 2009.81831 (208)			
AZNK	<i>N</i>	8.98 ± 0.30	1.58 ± 0.23 (фаза 0.77)	0.75 ± 0.22 (фаза 0.97)	3.23
	<i>E</i>	26.34 ± 0.58	1.13 ± 0.47 (фаза 0.82)	1.37 ± 0.45 (фаза 0.14)	6.21
	<i>H</i>	7.55 ± 0.87	2.65 ± 0.66 (фаза 1.12)	4.25 ± 0.70 (фаза 0.95)	11.38
	<i>T(K)</i>	2008.0123 – 2009.9959 (380)			
SAMR	<i>N</i>	9.12 ± 0.26	0.47 ± 0.10 (фаза 0.23)	0.36 ± 0.10 (фаза 0.89)	1.47
	<i>E</i>	25.24 ± 0.25	0.40 ± 0.09 (фаза 0.71)	0.24 ± 0.09 (фаза 0.55)	1.31
	<i>H</i>	2.69 ± 0.76	1.32 ± 0.66 (фаза 0.29)	0.69 ± 0.30 (фаза 1.12)	4.03
	<i>T(K)</i>	2008.0041 – 2009.00137 (260)			

Основные результаты обработки спутниковых измерений, выполненных на пяти базовых станциях KAZN (КФУ, г. Казань), MAKT (г. Альметьевск), ELAB (г. Елабуга), AZNK (г. Азнакаево), SAMR (г. Самара), сведены в табл. 1. Для каждой названной станции таблица содержит четыре строки, первые три из которых описывают смещения пункта по направлениям меридиана (к северу – строка *N*), первого вертикала (к востоку – строка *E*) и по высоте (строка *H*) соответственно.

Дальше каждая строка содержит вековую, годовую и полугодовую составляющие смещения по соответствующему направлению и, наконец, среднеквадратическое отклонение (СКО) поля остаточных разностей, получаемых после исключения вековой, годовой и полугодовой компонент из наблюдаемого значения смещения станции. В четвертой строке приведен интервал наблюдений T и в скобках число K использованных наблюдений.

Основной составляющей планового смещения рассмотренных базовых станций являются их вековые сдвиги в направлении на восток со скоростью от 20.90 мм/год (ELAB) до 26.34 мм/год (AZNK) и в направлении на север со скоростью от 6.54 мм/год (ELAB) до 9.50 мм/год (KAZN). Заметим, забегая вперед, что указанное смещение отражает глобальное движение Евроазиатской литосферной плиты. Что касается вековой составляющей смещения пунктов по высоте, то для четырех из пяти рассмотренных пунктов она положительна (высота со временем растет). При этом скорость увеличения высоты изменяется от 2.69 мм/год (SAMR) до 9.35 мм/год (ELAB). Однако пятый пункт МАКТ нарушает картину общего поднятия: для него характерно опускание со средней скоростью 12.54 мм/год. Поскольку этот пункт находится в зоне интенсивной нефтедобычи, именно это обстоятельство оказывается наиболее очевидным объяснением установленного эффекта.

Попытки выделения периодической составляющей смещения станций не позволяют, на наш взгляд, уверенно говорить о значимых изменениях смещений с годовым и полугодовым периодами, поскольку оцениваемые амплитуды этих гармоник сравнительно невелики, а фазы различны. В подтверждение сказанного можно заметить, что амплитуды годовой и полугодовой компонент (четвертый и пятый столбцы табл. 1) всегда меньше, чем среднеквадратическое отклонение остаточных разностей (шестой столбец той же таблицы), получаемых путем исключения из измерений вековой, годовой и полугодовой составляющих смещений пунктов.

Каждая строка табл. 1 может быть проиллюстрирована соответствующими графиками изменения пространственных координат рассматриваемого пункта. В частности, на рис. 1 в трех вариантах представлены наборы точек, характеризующих смещение пункта KAZN по меридиану. На этом рисунке приведены: а) наблюдаемые смещения пункта и выделена линейная вековая их составляющая; б) смещения пункта после исключения вековой составляющей, выделена периодическая (сезонная) компонента с периодом в 1 год; в) смещения пункта после исключения вековой, годовой и полугодовой составляющих.

В табл. 2 приведены полученные по наблюдениям характеристики векторов векового смещения каждой из рассмотренных выше пяти станций. Азимуты направлений векторов хорошо согласуются друг с другом и изменяются в диапазоне от 69.45° дуги (KAZN) до 72.62° (ELAB). Модули векторов также примерно одинаковы и принимают значения от 21.90 мм/год (ELAB) до 27.45 мм/год (МАКТ). Векторы смещений, описанные в табл. , были далее наложены на карту вековых смещений пунктов международной спутниковой сети IGS (International GNSS Service) (рис. 2).

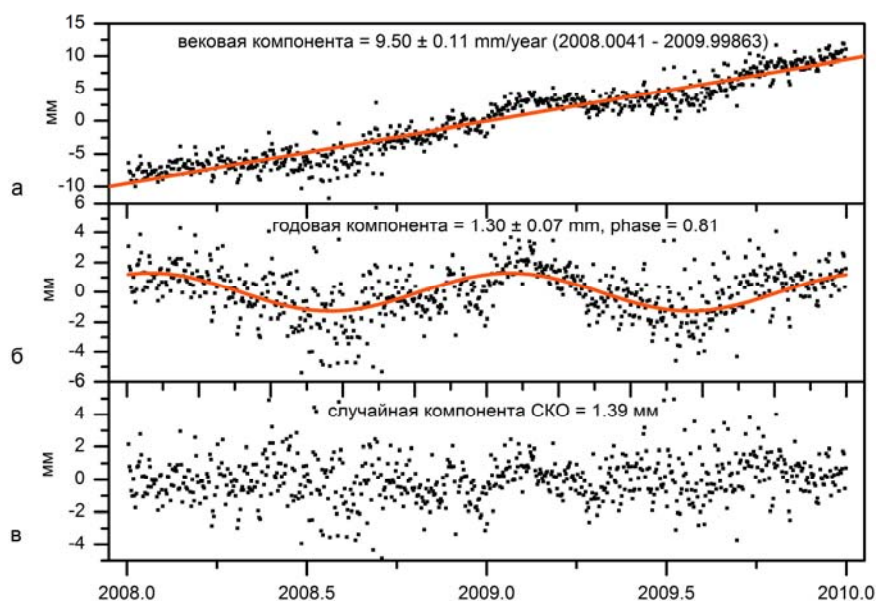


Рис. 1. Смещения пункта KAZN по направлению меридиана

Табл. 2

Азимуты направлений и скорости вековых смещений базовых станций

	KAZN	МАКТ	ELAB	AZNK	SAMR
Азимут, градусы	69.45	71.02	72.62	71.17	70.13
Скорость, мм/год	27.06	27.45	21.90	27.83	26.84

Нетрудно видеть, что установленные смещения уверенно вписываются в общую картину движения Евроазиатской литосферной плиты, что служит дополнительным аргументом в пользу достоверности и точности результатов геодинимических исследований, выполненных нами на территории РТ в 2008–2009 гг.

Полномасштабному осуществлению геодинимического мониторинга территории РТ должна способствовать реализация принятой Кабинетом Министров РТ в октябре 2008 г. республиканской программы «Использование результатов космической деятельности в целях социально-экономического развития Республики Татарстан (2008–2010 годы)». Одной из важнейших задач этой программы является создание в рамках пилотного проекта Роскосмоса «ГЛОНАСС-регион» на территории республики сети 25 постоянно действующих базовых референционных станций приема спутниковой информации, решающей задачу оперативного координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО) всех заинтересованных в этом потребителей [4].

Такого рода сеть реализует высокоточную геодезическую основу, используемую для решения различных научных и прикладных задач сгущения геодезических сетей, управления транспортом, наблюдения за деформациями земной коры, мониторинга инженерных объектов и сооружений, обеспечения кадастровых, топографических и строительных работ, высокоточного земледелия, управления строительной техникой, сбора данных для ГИС-проектов и т. д.



Рис. 2. Вектора векового смещения базовых станций РТ на фоне векторов векового смещения пунктов сети IGS

Сеть базовых референчных станций на территории РТ проектируется как многофункциональная и комплексно используемая система, помимо задач геодезического мониторинга обеспечивающая прецизионную геодезическую съемку как в режиме постобработки, так и путем предоставления дифференциальных поправок для высокоточного позиционирования в реальном времени. Развертываемая сеть заменит существующие отдельные базовые станции, значительно уменьшит затраты потребителей КВНО, обеспечит гарантированное качество работ, повысит надежность и точность результатов спутниковых данных, используемых с целью привязки сети референчных станций к пунктам государственной геодезической сети. Это позволит уже в ближайшее время сформировать высокоточное координатно-временное поле на территории РТ и получить детальные характеристики блочной структуры земной коры на территории региона.

В первоначальный проект размещения станций (см. [4]) были внесены небольшие уточнения, обусловленные необходимостью обеспечения большей равномерности расположения станций и увеличения размеров зон покрытия сигнала, распространения их на всю территорию республики. Уточненный вариант первоначального проекта расположения базовых станций представлен на рис. 3. Заметим также, что сеть станций первой очереди (12 станций) предполагается развернуть уже в 2010 г.

Важная роль в этой работе отводится создаваемому в Казанском (Приволжском) федеральном университете Межрегиональному центру прикладных навигационных технологий и услуг, а также входящему в структуру названного центра полигону отработки спутниковых навигационных технологий и услуг (ГЛОНАСС-



Рис. 3. Уточненная схема сети планируемых базовых станций на фоне основных тектонических разломов территории Республики Татарстан (см. [5]): I – Южно-Татарский свод, II – Северо-Татарский свод, III – Мелекесская впадина, IV – Казанско-Кировский прогиб, V – Токмовский свод, VI – Камско-Бельский авлакоген

полигон), находящемуся в соответствии с региональной системой высокоточного позиционирования, включающей и развертываемые базовые станции спутниковой сети РТ.

Summary

R.A. Kascheev, V.F. Bakhtiarov, R.V. Zagretidinov, R.V. Komarov. On Some Results and Future Applications of Satellite Technologies for the Geodynamic Monitoring of Earth Crust Movements on the Territory of the Republic of Tatarstan.

The results of processing of the GNSS measurements made in 2008–2009 at the five reference geodetic stations are considered. The components of vectors of permanent stations' displacement as a result of the global drift of the Eurasian lithosphere plate have been received. Future prospects of the geodetic infrastructure of 25 reference GNSS stations on the territory of the Republic of Tatarstan are discussed.

Key words: reference stations, global navigation satellite systems, satellite technologies, geodynamic monitoring.

Литература

1. Комаров Р.В., Загреддинов Р.В., Кащеев Р.А. Фигура локального квазигеоида Республики Татарстан // Геодезия и картография. – 2005. – № 12. – С. 40–43.
2. Кащеев Р.А., Нургалиев Д.К., Загреддинов Р.В., Комаров Р.В., Чернова И.Ю. Геодезический мониторинг динамики земной поверхности центральной части Республики Татарстан // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2008. – № 4. – С. 9–12.

3. *Komarov R.V., Kascheev R.A., Zagretdinov R.V.* Geoid determination by GPS/leveling method in the Republic of Tatarstan // *Georesources*. – 2007. – No 2(10). – P. 43–45.
4. *Кащеев Р.А., Загретдинов Р.В., Комаров Р.В.* Проект сети постоянно действующих станций для обеспечения высокоточного координатно-временного поля на территории Республики Татарстан // *Изв. Казан. гос. архитект.-строит. ун-та*. – 2009. – № 2(12). – С. 62–65.
5. *Войтович Е.Д., Гатиятуллин Н.С.* Тектоника Татарстана. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2003. – 132 с.

Поступила в редакцию
01.07.10

Кащеев Рафаэль Александрович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Rafael.Kascheev@ksu.ru*

Бахтияров Вилорий Фаритович – научный сотрудник Камчатского филиала Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский.

E-mail: *vila@emsd.ru*

Загретдинов Ренат Вагизович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Renat.Zagretdinov@ksu.ru*

Комаров Руслан Викторович – ассистент кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Ruslan.Komarov@ksu.ru*