

УДК 528.2:629.78

М. В. Ищенко

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680
marina@mao.kiev.ua

Определение скоростей движения восточноевропейских станций по данным ГНСС-наблюдений в Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины

В Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины проведено исследование динамики горизонтальных и вертикальных движений ГНСС-станций, расположенных в Восточноевропейском регионе. Для анализа использовались оценки координат ГНСС-станций, полученные в результате региональной обработки и репроцессинга, проведённых в Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины с помощью программного комплекса «Bernese GNSS Software ver. 5.2». Получены значения скоростей для 42 ГНСС-станций, 15 из которых расположены на территории Украины. Определены значения глобальных и локальных смещений горизонтальных и вертикальных движений ГНСС-станций.

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКИХ СТАНЦІЙ ЗА ДАНИМИ ГНСС-СПОСТЕРЕЖЕНЬ У ЦЕНТРІ АНАЛІЗУ ГНСС-ДАНИХ ГАО НАН УКРАЇНИ, Іщенко М. В. — У Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України виконано дослідження динаміки горизонтальних та вертикальних рухів ГНСС-станцій, що розташовані в Східноєвропейському регіоні. Для аналізу використовувались оцінки координат ГНСС-станцій, отримані в результаті регіональної обробки та репроцесингу, що були виконані в Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 5.2». Отримано значення швидкостей для 42 ГНСС-станцій, 15 з яких розташовано на території України. Визначено значення глобальних та локальних зміщень горизонтальних та вертикальних рухів ГНСС-станцій.

THE VELOCITIES DETERMINATION FOR THE EASTERN EUROPE STATIONS USING GNSS OBSERVATIONS AT THE GNSS DATA ANALYSIS CENTRE MAO NAS OF UKRAINE, by Ishchenko M. V. — At the GNSS Data Analysis Centre MAO NAS of Ukraine horizontal and vertical movements' dynamic research for the GNSS stations, located in East European region, was proceeded. The coordinates estimation of GNSS stations, obtained from the solutions of regional processing and reprocessing, that were performed at the GNSS Data Analysis Centre MAO NAS of Ukraine with the software complex Bernese GNSS Software ver. 5.2, were used for the analysis. Velocity values for 42 GNSS stations, 15 of them are located in Ukraine, were obtained. Global and local offsets for the horizontal and vertical GNSS stations' movements were obtained.

Деформации земной коры можно определить с помощью геодезических измерений, что дает возможность выявить смещение координат пунктов наблюдений и изменения их скоростей. В наше время особое значение для поставленных задач геодинамики имеют перманентные станции мониторинга координат точек земной поверхности на основе такой технологии, как ГНСС. Широкое использование ГНСС-технологий и увеличение длительности периода наблюдений на перманентных ГНСС-станциях позволяет определить векторы скоростей их смещения.

В данной работе предпринята попытка интерпретировать деформации земной коры с привязкой к геологической карте, базируясь на полученных значениях скоростей смещения. Целью работы является определение и анализ изменений значений скоростей ГНСС-станций со временем, прежде всего станций, расположенных на территории Украины.

В Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины были выполнены:

- регулярная обработка ГНСС-наблюдений для GPS-недель 1400—1631 (5 ноября 2006 г. — 10 апреля 2011 г.),
- репроцессинг архивных данных для GPS-недель 935—1399 (9 декабря 1997 г. — 4 ноября 2006 г.).

Для полученных решений использовались наблюдения на 43 ГНСС-станциях, расположенных на территории Восточной Европы, 16 из которых — на территории Украины.

Более детальную информацию о репроцессинге и регулярной обработке можно получить из работ [4, 8] и на web-странице Украинской перманентной ГНСС-сети [<http://gnss.mao.kiev.ua/?q=node/17>]. Общие сведения о ГНСС-станциях представлены в таблице. Расположение перманентных станций приведено на рис. 1.

Полученные файлы в форматах SINEX и TROPEx размещены на ftp-сервере ГАО НАН Украины [<ftp://mao.kiev.ua/pub/gnss/products/IGS05>]. Так как оба решения выполнены в единой координатной системе IGS05, а полученные временные ряды достаточно длитель-

Общие сведения о ГНСС–станциях, их геологическом расположении и значения смещений (общие значения и локальные деформации)

Станция	Страна	Идентификатор	Геологическое расположение ГНСС-станции	V_N , мм/год		V_E , мм/год		V_U , мм/год	
				$V_{от}$	V_{loc}	$V_{от}$	V_{loc}	$V_{от}$	V_{loc}
Бяла-Подляска	Польша	BPDŁ	Восточноевропейская платформа	13.63	1.14	20.60	-0.65	-0.10	0.80
Юзефослав	Польша	JOZE*	Восточноевропейская платформа	14.68	0.07	21.06	1.85	-0.15	2.04
Ольштын	Польша	LAMA	Восточноевропейская платформа	14.74	-0.30	19.42	-1.97	0.97	-0.21
Менделеево	Россия	MDVJ	Восточноевропейская платформа	11.81	2.02	22.50	-2.57	2.51	-2.78
Обнинск	Россия	MOBN	Восточноевропейская платформа	11.38	-0.50	22.83	-0.40	3.00	-4.11
Вильнюс	Литва	VLNS*	Восточноевропейская платформа	13.73	-3.36	20.71	-1.87	0.44	-1.32
Клайпеда	Литва	KLPD	Восточноевропейская платформа	14.70	3.07	19.75	-1.36	1.96	-2.84
Рига	Латвия	RIGA	Восточноевропейская платформа	13.53	1.73	19.93	-2.88	1.76	0.66
Кишинев	Молдавия	IGEO	Восточноевропейская платформа	13.01	1.61	22.32	2.29	0.09	1.49
Алчевск	Украина	ALCI	Восточноевропейская платформа	11.51	-1.89	24.50	-2.57	1.14	-2.75
Днепропетровск	Украина	DNMU	Восточноевропейская платформа	12.06	0.92	23.50	1.54	1.84	-3.17
Евпатория	Украина	EVPA*	Восточноевропейская платформа	12.63	0.99	23.53	2.74	-0.03	1.52
Киев/Голосеево	Украина	GLSV	Восточноевропейская платформа	12.21	1.03	22.33	-2.04	-0.08	-1.12
Львов	Украина	SULP	Восточноевропейская платформа	14.14	-0.19	21.38	-1.76	0.40	-2.17
Николаев	Украина	MIKL	Восточноевропейская платформа	12.58	-1.14	23.16	-2.15	0.09	1.93
Полтава	Украина	POLV	Восточноевропейская платформа	12.59	-2.95	22.17	2.48	0.58	-2.63
Смела	Украина	SMLA	Восточноевропейская платформа	14.29	-3.65	22.39	-3.10	-0.63	-3.64
Харьков	Украина	KHAR	Восточноевропейская платформа	11.09	-0.10	23.39	-1.83	0.62	-1.56
Харьков/ХНУРЕ	Украина	SURE	Восточноевропейская платформа	13.07	-0.49	22.97	-2.18	-0.36	-3.11
Чернигов	Украина	CNIV	Восточноевропейская платформа	12.94	3.17	22.23	-1.54	1.60	2.74
Шацк	Украина	SHAZ	Восточноевропейская платформа	14.09	2.07	21.00	-2.77	-1.42	-0.12
Боровец	Польша	BOR1	Западноевропейская платформа	14.80	0.90	19.88	-0.09	0.49	1.94

Окончание таблицы

Станция	Страна	Идентификатор	Геологическое расположение ГНСС-станции	V_{N_s} , мм/год		V_{E_s} , мм/год		V_{U_s} , мм/год	
				V_{tot}	V_{loc}	V_{tot}	V_{loc}	V_{tot}	V_{loc}
Ветцель	Германия	WTZR	Западноевропейская платформа	15.63	-0.65	20.25	-0.45	0.57	-2.17
Бухарест	Румыния	BUCU	Средиземном. геосинклинальный пояс	12.55	1.17	22.94	2.41	3.31	2.56
Баксу	Румыния	BACA	Средиземном. геосинклинальный пояс	13.72	1.10	22.07	-1.11	0.63	2.33
Констанца	Румыния	COST	Средиземном. геосинклинальный пояс	12.57	-1.65	23.41	-0.15	0.22	-0.95
Байя-Маре	Румыния	BAIA	Средиземном. геосинклинальный пояс	13.95	-0.23	22.48	2.42	0.30	0.45
Дева	Румыния	DEVA	Средиземном. геосинклинальный пояс	12.81	2.05	20.79	1.67	1.05	1.33
Устшики-Дольне	Польша	USDL	Средиземном. геосинклинальный пояс	14.29	-0.67	21.49	1.45	-1.07	-1.16
Зеленчукская	Россия	ZECK	Средиземном. геосинклинальный пояс	11.79	-3.20	25.11	-2.49	1.79	2.08
Анкара	Турция	ANKR*	Средиземном. геосинклинальный пояс	12.36	15.27	0.96	-13.28	-1.63	-4.73
Стамбул	Турция	ISTA	Средиземном. геосинклинальный пояс	10.66	1.10	24.92	-0.38	1.11	-0.11
Трабзон	Турция	TRAB	Средиземном. геосинклинальный пояс	13.77	2.44	24.82	-4.00	1.15	1.64
Орошсхаза	Венгрия	OROS	Средиземном. геосинклинальный пояс	14.84	-0.09	23.22	-1.05	0.62	2.91
Пенч	Венгрия	PENC	Средиземном. геосинклинальный пояс	15.12	-2.83	21.81	-1.43	1.29	-0.76
Грац	Австрия	GRAZ	Средиземном. геосинклинальный пояс	16.03	2.46	21.88	-0.85	0.85	1.97
София	Болгария	SOFI	Средиземном. геосинклинальный пояс	12.48	0.50	23.77	2.18	-1.72	-2.17
Магера	Италия	MATE	Средиземном. геосинклинальный пояс	19.43	2.75	22.87	4.28	1.20	4.58
Никосия	Кипр	NICO*	Средиземном. геосинклинальный пояс	16.85	-3.26	19.14	4.89	0.43	-2.41
Кацивели	Украина	KTVL*	Средиземном. геосинклинальный пояс	6.45	3.07	22.82	-1.37	-0.83	-0.30
Симеиз	Украина	CRAO	Средиземном. геосинклинальный пояс	11.98	-2.32	23.74	2.23	1.55	0.71
Ужгород	Украина	UZHJ	Средиземном. геосинклинальный пояс	13.72	-0.53	21.38	1.27	-0.07	-1.59

ные, это позволило решить задачу по определению векторов смещения для данных ГНСС-станций.

Для того чтобы определить скорости движения ГНСС-станций, по рекомендациям международных служб, таких как International GNSS Service и EUREF Permanent GNSS Network, необходимо иметь непрерывный период наблюдений минимум три года [10]. ГНСС-станции KTVL и PRYL этому требованию не удовлетворяют. Первая станция имеет период наблюдений два с половиной года, вторая — менее двух лет с длительными перерывами в наблюдениях. Тем не менее, KTVL была включена в процесс определения скорости движения. По данным геодезических кампаний, проводимых на Крымском геодинамическом полигоне [6], KTVL имеет четко выраженные смещения даже при коротких интервалах наблюдений. На основе результатов геодезических кампаний можно сделать вывод, что период наблюдений в два с половиной года будет достаточным для получения достоверных значений. С помощью программного комплекса «Bernese GNSS Software ver. 5.2» были определены значения векторов для 42 ГНСС-станций. Для этого использовались суточные файлы нормальных уравнений обоих решений. Максимальный период наблюдений длился с 9 декабря 1997 г. по 10 апреля 2011 г. Таким образом, самый длительный период наблюдений составил чуть более 14 лет, минимальный — два с половиной года.

Полное значение вектора скорости определяется суммой вектора V_{pl} движения литосферной плиты, рассчитанного для ГНСС-станции по модели NUVEL-1A [10, 11], и вектора V_{loc} локальной деформации для каждой ГНСС-станции:

$$V_{tot} = V_{pl} + V_{loc}.$$

Процесс получения значений векторов скоростей можно разделить на два этапа. На первом этапе определяются значения смещений ГНСС-станций только в рамках модели движения литосферных плит NUVEL-1A. Для этого было необходимо сформировать файл с информацией о литосферных плитах, на которых расположены ГНСС-станции. Эти данные указываются в «Site Information Form» для станций.

Первые модели основывались на геологических данных с учетом азимутов трансформных разломов, скоростей расширения и векторов скольжения землетрясений. Новые модели тектоники стали появляться после использования космических технологий для измерения движения литосферных плит [5, 11, 12].

Так как значения смещений ГНСС-станций, рассчитанные по модели движения тектонических плит, были получены в декартовой системе координат, то их было необходимо трансформировать в локальную координатную систему. В результате трансформации, выполненной по формулам [13, с. 281], были получены значения смещений ГНСС-станций для трех составляющих в локальной системе координат — северной, восточной и высотной (табл. 1). Звездочкой в табл. 1

отмечены ГНСС-станции, антенны которых установлены на специальные бетонные сооружения непосредственно на грунте. Такое сооружение позволяет свести практически к нулю деформации конструкции, которые могут влиять на определение векторов смещений для станций, расположенных на крышах зданий, особенно многоэтажных. Поэтому данные значения можно рассматривать как значения, лишенные ошибок, приносимых конструкциями зданий.

Горизонтальные движения. Основной причиной движения литосферных плит является конвекция в мантии Земли. Источником энергии служит разность температур на поверхности и в центральных областях астеносферы. Литосферные плиты движутся от областей, где происходит растяжение в океанах (срединные хребты), к областям сжатия [7].

Горизонтальные перемещения литосферных плит по астеносфере не сопровождаются деформациями в самой плите. Среди этого типа не выделяются различные типы движений, варьирует только их скорость. Поэтому такие перемещения сложно выявить [1, 2], в то время как вертикальные перемещения создают рельеф плиты, и их гораздо проще обнаружить. Как уже отмечалось выше, основная задача изучения горизонтальных движений лежит в создании целостной картины перемещения континентальных и океанических участков коры.

На рис. 1, а показаны направления горизонтальных составляющих векторов скоростей для 42 ГНСС-станций. Для большинства станций смещение имеет северо-восточное направление. Видно, что все направления векторов согласуются между собой, кроме явно выделяющейся станции ANKR, вектор которой имеет северное направление.

Полученные в Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины значения векторов движений совпадают с результатами расчетов глобальной картины движения литосферных плит по модели

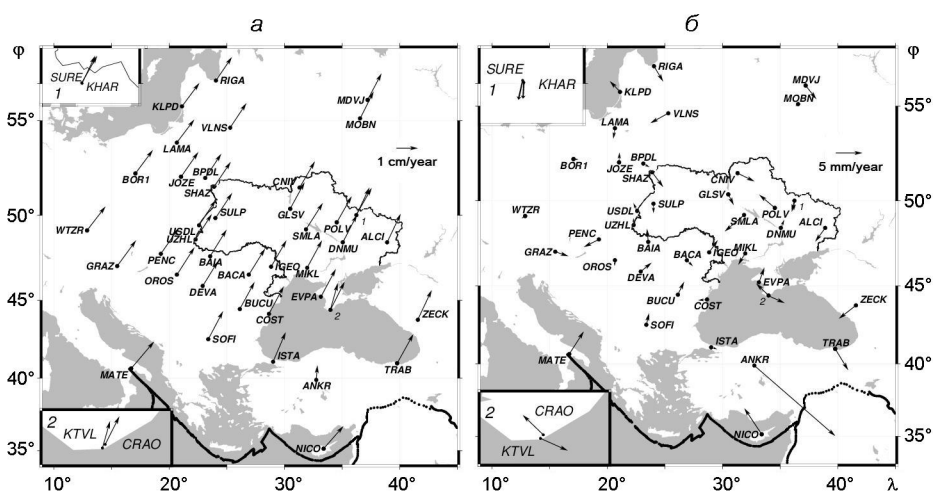


Рис. 1. Горизонтальная составляющая вектора смещения ГНСС-станций: а — значения V_{tot} , б — V_{loc}

NUVEL-1A в центре UNAVCO (см. веб-страницу UNAVCO [http://www.unavco.org/data/gps-gnss/gps-gnss.html]).

На рис. 1, б представлены направления горизонтальных составляющих векторов локальных смещений движений ГНСС-станций. Общих тенденций здесь не наблюдается, что говорит о различных локальных тенденциях смещений.

Вертикальные движения. На рис. 2 представлены такие геологические области (обозначены цифрами): 1 — Восточноевропейская платформа, 2 — Средиземноморский геосинклинальный пояс, 3 — Среднеевропейская равнина, 4 — Африканская литосферная плита. На рис. 2, а представлены значения высотных составляющих векторов локальных движений с учетом полученных данных движения плиты, региональных и локальных деформаций V_{tot} , а на рис. 2, б — значения локальных движений V_{loc} . Стрелки, направленные вверх, обозначают восходящие движения, а направленные вниз — нисходящие.

Восточноевропейская платформа. Практически вся территория Украины, за исключением Карпатских и Крымских гор, лежит на Восточноевропейской платформе. Платформа характеризуется низкой интенсивностью вертикальных движений в течение длительного времени [2]. Как основные составляющие платформы могут быть выделены щиты и плиты.

Центральная часть правобережной Украины лежит на кристаллическом щите, границей которого на востоке служит северо-восточный склон (устье реки Днепр). Щиты — это участки выхода на поверхность древних кристаллических пород фундамента платформы (осадочный чехол практически отсутствует).

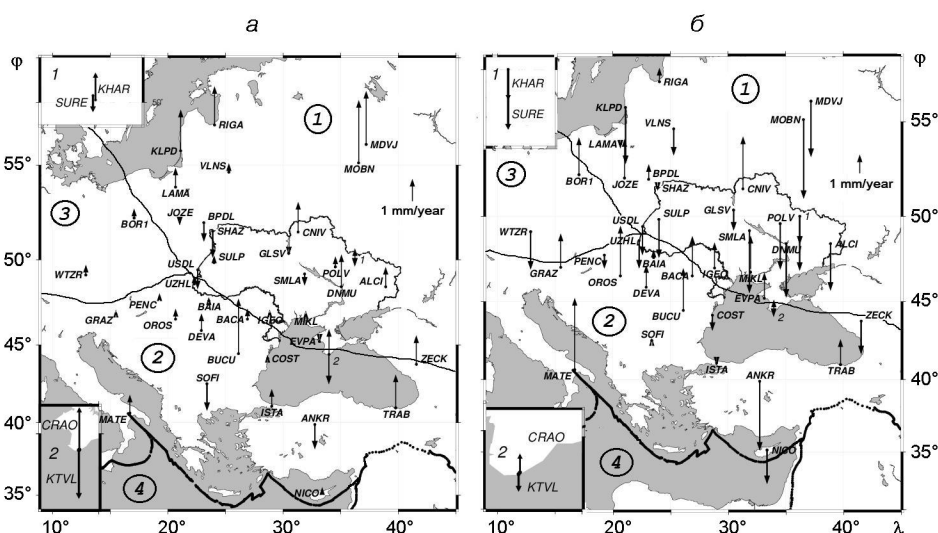


Рис. 2. Вертикальная составляющая вектора восходящих и нисходящих движений ГНСС-станций: а — значения V_{tot} , б — V_{loc} (1 — Восточноевропейская платформа, 2 — Средиземноморский геосинклинальный пояс, 3 — Западноевропейская равнина, 4 — Африканская литосферная плита)

Для полноценного анализа геодинамической обстановки на территории Украины 15 ГНСС-станций недостаточно. Тем не менее, общую картину тенденций по высотной составляющей можно составить. На окраине Украинского щита расположена станция DNMU, а на его склонах — станции GLSV и SMLA. Полученные результаты для этих станций говорят о том, что происходит плавное сползание осадочного чехла с границ щита.

ГНСС-станции SHAZ, SULP (обе расположены на территории Украины) и BPDL (Польша) располагаются на склонах Украинского щита, который граничит с юго-западной окраиной Среднеевропейской равнины. Движения этих станций указывают на проседание данной местности, что может быть вызвано давлением на низменный участок (образование Шацких озер) геосинклинальным поясом.

ГНСС-станции CNIV, POLV, SURE, KHAR лежат на достаточно спокойном участке восточноевропейской плиты — Днепровско-Донецкой впадине. Станция ALCI располагается на донецкой складчатости. Все они показывают различные небольшие восходящие и нисходящие движения, что говорит о незначительных локальных смещениях.

ГНСС-станция MIKL расположена на причерноморской впадине и имеет незначительный положительный рост. ГНСС-станция EVPA, несмотря на то, что находится на стабильном участке — Скифской плите, расположена у побережья Черного моря, и со скоростью -0.03 мм/год опускается к береговой линии. Кроме того, шесть ГНСС-станций из восьми, расположенных на территории Восточноевропейской платформы, имеют восходящие движения.

Тем не менее, при определении локальных деформаций станций для территории Украины только две станции, CNIV и MIKL, имеют положительные восхождения, как и при определении V_{tot} . Станция MIKL, имевшая при V_{tot} отрицательное значение, при V_{loc} показала положительное восхождение. Оставшиеся станции на Восточноевропейской платформе при определении V_{loc} в большинстве своем показали незначительные нисходящие движения (см. табл. 1).

Интерес представляет пара станций KHAR и SURE, расположенных примерно в 1.3 км друг от друга. Станция SURE в обоих вариантах показывает нисходящее движение, причем при определении локального смещения нисходящее движение выросло в два раза. Причиной может служить строительство, проводившееся в районе, где установлена станция SURE, что, скорее всего, и привело к локальному сдвигу грунта.

Среднеевропейская равнина. К северо-западной окраине Восточноевропейской платформы примыкает Среднеевропейская равнина. Равнина Средней Европы расположена в обширном прогибе между Балтийским щитом и зоной палеозойских складчатых структур. В современную эпоху участки береговой линии испытывают частичное опускание (особенно в западной части), некоторые же районы, наоборот, поднимаются. На данной территории расположены ГНСС-стан-

ции WTZR и BOR1, демонстрирующие восходящие движения. К сожалению, чтобы судить об общей динамике этого геологического региона, двух станций недостаточно, и можно говорить только о локальных тенденциях, которые носят положительный характер для станции BOR1 и отрицательный — для WTZR (см. табл. 1).

Средиземноморский геосинклинальный пояс. К юго-западной окраине Восточноевропейской платформы примыкает Средиземноморский геосинклинальный пояс. Это один из главных подвижных поясов Земли, протягивающийся в общем широтном направлении от Атлантического к Тихому океану. В данной работе рассматривается только Альпийский участок Средиземноморского пояса.

В сегодняшнее время эта область является одним из наиболее тектонически активных участков Евразийской литосферной плиты [2, 3, 7]. Здесь можно выделить «желоба», где происходит разрушение Африканской плиты с последующим ее подползанием под Евразийскую плиту. Также имеются «трансформенные разломы», где происходит объединение двух типов границ, где кора не создается и не разрушается [1, 9]. Данные о расположениях «желобов» и «трансформенных разломов» для программного комплекса визуализации карт «Global mapping tools» [<http://gmt.soest.hawaii.edu/projects/gmt>] взяты из базы данных Института геологии Техасского университета в Остине, США [<http://www.ig.utexas.edu/research/projects/plates/data.htm>].

В областях, описанных выше, средняя скорость вертикальных движений на порядок или даже на несколько порядков выше, чем на платформах или равнинах. Вертикальные движения делятся на восходящие и нисходящие. К первому типу относятся, к примеру, горные рельефы, сформировавшиеся в геосинклинальных поясах. Ко второму типу можно отнести формирование внутренних и краевых морей. Средиземноморское, Черное и Каспийское моря служат проявлением нисходящих движений, что привело к формированию котлованов, заполнившихся впоследствии водой.

Из 18 расположенных ГНСС-станций в этом регионе по расчетам V_{tot} только три имеют нисходящее движение — ANKR, KTVL и SOFI. Отрицательные локальные деформации показали станции: ANKR, KTVL, UZHL, PENC, COST, ISTA, ZECK и NICO. Значения вертикальных компонентов векторов движения для всех станций, кроме ANKR, ZECK и NICO, не превышают одного миллиметра. ГНСС-станция ANKR в обоих вариантах показывает нисходящее движение, что может объясняться проявлением увеличения прогиба. Центром этого прогиба является озеро Туз, расположенное в нескольких десятках километров от Анкары.

Станции CRAO и KTVL расположены на расстоянии примерно 2.9 км друг от друга. В обоих случаях станция CRAO демонстрирует восходящее движение, а станция KTVL — нисходящее (рис. 2). CRAO расположена на геодинамически стабильной территории — разрушенные, но стабильные коренные породы. Как следствие, здесь прак-

тически отсутствуют деформации пород. ГНСС-станция KTVL, наоборот, расположена на крайне нестабильной территории — глинистые породы и валуны, которые сползают к морю. По данным геодезических кампаний сползание составляет 8 мм в год, иногда замедляясь до 3 мм или ускоряясь до 15 мм и более. На отдельных участках ближе к морю пластические деформации массива пород переходят в стадию активного оползня с оседаниями и трещинами поверхности грунта [6].

На стыках Евразийской и Африканской литосферных плит, где находится область схождения плит, располагается активный участок. Здесь происходит образование глубоководных желобов. В этой области расположена станция NICO. Полученные значения векторов движений для данной станции, которая располагается на геологически активной территории, говорят о значительных локальных деформациях.

Выводы. На сегодняшний день все еще нет четкого представления о влиянии различных внутренних и внешних процессов динамики на кинематику литосферных плит. Однако действие таких сил сказывается на скорости движения литосферных плит. Также наибольший интерес представляют значения высотной составляющей, так как именно они могут помочь выявить тенденции динамики самой плиты и ее геологических составляющих, а также локальную динамику. В свою очередь, такие перемещения можно определить по результатам длительных высокоточных ГНСС-наблюдений.

Для получения значений скоростей горизонтальных и вертикальных составляющих были использованы результаты регулярной обработки ГНСС-наблюдений для GPS-недель 1400—1631 и репроцессинга архивных данных для GPS-недель 935—1399, полученные в Центре анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины. Значения скоростей получены для 42 ГНСС-станций, расположенных на территории Восточной Европы, 15 из которых — на территории Украины. Результаты движений ГНСС-станций согласуются с глобальной моделью тектоники литосферных плит. Кроме результатов, полученных в рамках глобальной модели тектоники плит, также получены значения локальных деформаций для каждой ГНСС-станции.

На основе анализа геологической структуры западной территории Евразийской плиты и расположения ГНСС-станций можно выявить четкую корреляцию в изменении высотной составляющей, связанную с геологическими процессами. Так, наиболее отчетливо эта связь прослеживается на территории геологически активного Средиземноморского геосинклинального пояса, который имеет восходящие движения для 15 из 18 ГНСС-станций, расположенных в этом районе. Тем не менее, для того чтобы более детально изучить геодинамические процессы, происходящие на территории Украины, 15 ГНСС-станций недостаточно, необходимо более плотное покрытие, особенно на правобережной территории Украины.

Работа выполнена в рамках стипендии Президента Украины для молодых ученых. Программный комплекс «Bernese GNSS Software»

обновлен до версии 5.2 благодаря финансовой поддержке компании ЧАО «Систем Солюшнс».

1. *Артюшков У. В.* Геодинамика. — М.: Наука, 1979.—327 с.
2. *Власова Т. В.* Физическая география материков (с прилегающими частями океанов): в 2 частях. — М.: Просвещение, 1986.—Ч. 1.—417 с.
3. *Дьюи Дж., Берд Дж.* Горные пояса и новая глобальная тектоника // Новая глобальная тектоника.—М.: Мир, 1974.—С. 191—219.
4. *Ищенко М. В.* Репроцессинг GPS-наблюдений на перманентных станциях региональной GPS-сети для GPS-недель 935—1399 // *Космічна наука і технологія*.—2014.—**20**, № 3.—С. 41—48.
5. *Марченко О. М., Третяк К. Р., Ярема Н. П.* Референцні системи в геодезії: Навч. посібник. — Львів: Вид-во «Львівська політехніка», 2013.—216 с.
6. *Одинець О. П., Самойленко О. М., Якув Я. С.* Исследование деформаций земной поверхности и локальная привязка астрономо-геодезических приборов на Крымском геодинамическом полигоне «Симеиз — Качивели» // *Бюл. Укр. центру визначення параметрів обертання Землі*.—2013.— № 8.—С. 15—35.
7. *Соколовский А. К.* Важнейшие зоны разломов Центральной Европы: происхождение и история развития // *Матер. Междунар. геол. конгр. «Тектонические процессы»*, 28 сес.: Докл. сов. геологов. — М., 1989.—С. 242—252.
8. *Хода О. А.* Центр анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины: результаты обработки наблюдений для GPS-недель 1400—1631 // *Космічна наука і технологія*.—2015.—**21**, № 2.—С. 56—64.
9. *Bird J. M., Isacks B.* Plate tectonics: Selected Papers from the Journal of Geophysical Research. — Washington: Amer. Geophys. Union, 1972.—563 p.
10. *Blewitt G., Lavalle D.* Effect of annual signals on geodetic velocity // *J. Geophys. Res.*—2002.—**107**, N B7.—P. 1—11.
11. *DeMets C., Gordon R. G., Argus D. F., Stein S.* Current plate motions // *Geophys. J. Int.*—1990.—**101**.—P. 425—478.
12. *DeMets C., Gordon R. G., Argus D. F., Stein S.* Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal timescale on estimates of current plate motions // *Geophys. Res. Lett.*—1994.—**21**.—P. 2191—2194.
13. *Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E.* GNSS — Global Navigation Satellite System. — Wien, New York: Springer, 2008.—527 p.

Статья поступила в редакцию 11.12.14