

# ВЫЯВЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

**А.Ю. Корякин** (ООО «Газпром добыча Уренгой», Новый Уренгой)

В 1992 г. окончил Пермский политехнический институт (в настоящее время — Пермский национальный исследовательский политехнический университет) по специальности «разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», в 2006 г. — Санкт-Петербургский международный институт менеджмента, квалификация «мастер делового администрирования». После окончания института работал в ПО «Надымгазпром», ООО «Тюментрансгаз» и ООО «Газпром добыча Ямбург». С 2012 г. работает в ООО «Газпром добыча Уренгой», в настоящее время — генеральный директор.

**М.Г. Жариков** (ООО «Газпром добыча Уренгой», Новый Уренгой)

В 1997 г. окончил Государственную академию нефти и газа им. И.М. Губкина (в настоящее время — Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина) по специальности «горный инженер». После окончания академии работает в ООО «Газпром добыча Уренгой», в настоящее время — заместитель генерального директора — главный геолог. Кандидат технических наук.

**В.В. Билянский** (ООО «Газпром добыча Уренгой», Новый Уренгой)

В 1986 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического института (в настоящее время — Национальный университет «Львовская политехника», Украина) по специальности «астрономо-геодезист». После окончания института работал в ФГУП «ЗапСибАГП» (Тюмень), с 1993 г. — в ООО «Ямбурггаздобыча». С 2004 г. работает в ООО «Газпром добыча Уренгой», в настоящее время — главный маркшейдер.

**В.А. Затырко** (ПАО «Газпром», Санкт-Петербург)

В 1985 г. окончил Московский горный институт (в настоящее время — Горный институт Национального исследовательского технологического университета «МИСиС») по специальности «горный инженер — маркшейдер». После окончания института работал в Московском горном институте, с 1994 г. — в ООО «Ямбурггаздобыча», с 1999 г. — в ЗАО «Нортгаз» (Новый Уренгой). С 2014 г. работает в Администрации ПАО «Газпром», в настоящее время — начальник отдела. Кандидат технических наук.

**Г.М. Стеблов** (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН)

В 1989 г. окончил Московский авиационный институт им. С. Орджоникидзе (в настоящее время — Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)) по специальности «прикладная математика». С 1994 г. работает в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН). В настоящее время — главный научный сотрудник лаборатории спутниковых методов изучения геофизических процессов ИФЗ РАН и заведующий сектором геодинамического мониторинга Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (Обнинск). Доктор физико-математических наук, профессор РАН.

В соответствии со статьей 24 Закона РФ от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 «О недрах», с целью безопасного ведения работ, связанных с использованием недр, предприятие-недропользова-

тель обязано проводить комплекс геологических, маркшейдерских и иных наблюдений, необходимых и достаточных для обеспечения нормального технологического цикла работ и

прогнозирования опасных ситуаций, своевременное определение опасных зон и нанесение их на планы горных работ.

С июня 2004 г. в ООО «Газпром добыча Уренгой» (да-

лее — Общество) службой главного маркшейдера реализован первый этап проекта создания наблюдательных базовых ГНСС-станций с целью слежения за возможными пространственными перемещениями земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов [1].

В процессе развития указанного проекта в эксплуатацию вводились новые станции, и по состоянию на январь 2018 г. создано 11 постоянно действующих базовых ГНСС-станций, образующих локальную сеть, с возможностью получения надежных результатов геодезических спутниковых определений и контроля точности замкнутых геодезических построений.

Постоянно действующие базовые ГНСС-станции Общества оборудованы двухчастотными двухсистемными (GPS/ГЛОНАСС) приемниками Trimble NetR5 и антеннами Zephyr Geodetic Model II с радиопрозрачным снегозащитным куполом Radome для защиты их корпусов от образования наледи, скопления снега и рефракции.

Функциональность локальной спутниковой сети Общества обеспечивается программой Trimble GPSNet, которая позволяет вести контроль целостности системы, а также архивировать на сервере суточные файлы измерений. Запись суточных файлов ведется с интервалом 5 и 30 секунд, также сохраняются часовые файлы с частотой записи через 1 секунду.

Объем исходных спутниковых геодезических измерений характеризуется временным интервалом наблюдений и суммарным числом суточных сессий наблюдений. За период времени наблюдений с 11.06.2004 г. по 31.12.2017 г. суммарное число суточных сессий наблюдений на всех станциях составило 25 699.

В 2016 г. данные измерений на станциях Общества за весь период наблюдений были обра-

ботаны в лаборатории спутниковых методов изучения геофизических процессов Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН). В обработку были включены суточные файлы измерений на базовых ГНСС-станциях Общества с частотой регистрации 30 секунд, а также данные базовых станций сети IGS: NRIL (Норильск), ARTU (пос. Арти Свердловской обл.), IRKJ (Иркутск), NOVМ (Новосибирск), SVTL (пос. Светлое Ленинградской обл.).

Обработка измерений проводилась с помощью программного обеспечения GAMIT/GLOBK (версия 10.5), разработанного в

Массачусетском технологическом институте (Massachusetts Institute of Technology) [2, 3].

При обработке спутниковых измерений использовались следующие дополнительные данные:

— высокоточная эфемеридно-временная информация по результатам окончательного глобального уравнивания станций глобальной сети IGS;

— параметры вращения Земли (вариации положения полюса и скорости суточного вращения);

— модели различных геофизических процессов, влияющих на точность определения координат станций;

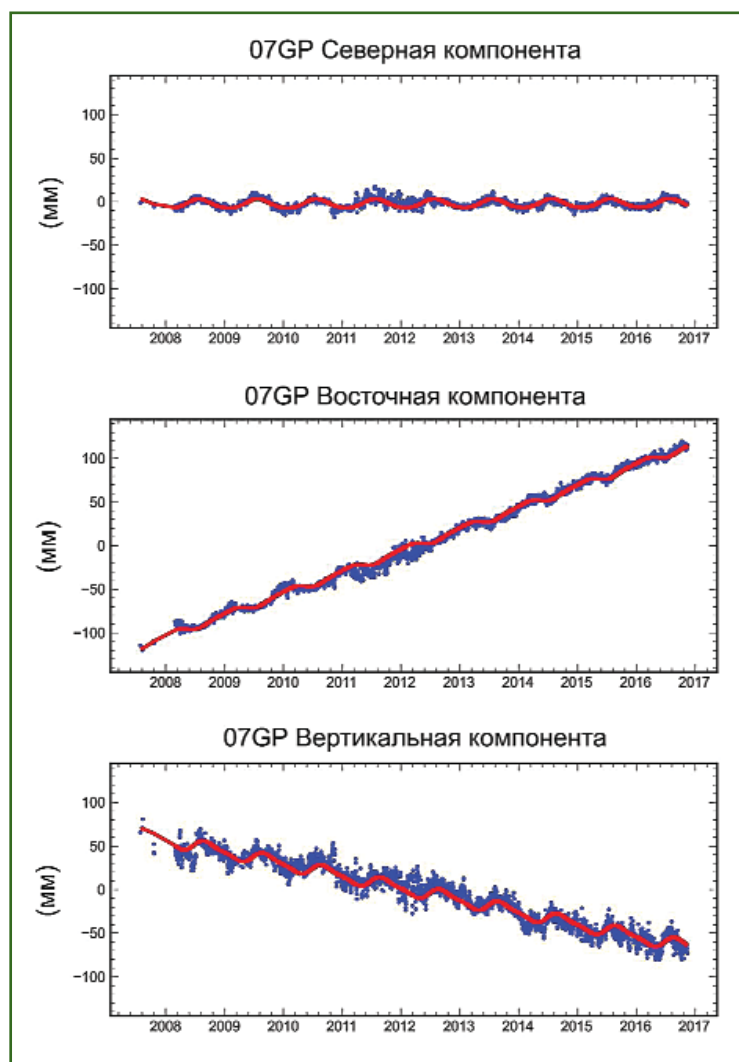


Рис. 1

Результаты построения регрессионной модели движения ГНСС-станции 07GP

**Скорости пространственного движения ГНСС-станций Общества и ближайших станций IGS относительно неподвижной Евразийской плиты в проекциях на оси локальных топоцентрических координат**

Название станции	Широта, °	Долгота, °	Северная скорость VN, мм/год	Восточная скорость VE, мм/год	Вертикальная скорость VU, мм/год	СКО VN, мм/год	СКО VE, мм/год	СКО VU, мм/год
01AS	65,94182	76,85566	-0,67	-0,02	-9,67	0,80	0,80	0,81
07GP	66,42044	76,76319	-1,15	0,03	-12,73	0,68	0,68	0,69
08GP	66,47091	76,62625	-0,39	1,58	-14,81	0,64	0,64	0,66
10GP	66,59008	76,72407	-0,78	-2,56	-10,22	0,63	0,63	0,67
11GT	67,00942	76,29203	-1,75	-1,91	-6,60	0,79	0,79	0,81
15GA	67,50491	76,52176	-1,18	2,51	-10,07	0,72	0,73	0,76
16GT	66,95056	75,40335	0,38	-0,80	-11,63	0,73	0,73	0,78
22GP	66,18737	77,03888	0,18	-0,34	-8,87	0,79	0,79	0,81
31GA	66,36826	76,97151	0,52	-0,54	-13,03	1,00	1,01	1,12
NTGP	66,11672	76,68839	0,03	0,24	-6,65	0,86	0,86	0,88
NURG	66,08982	76,67049	0,78	0,02	-8,46	0,58	0,58	0,59
<i>Станции IGS</i>								
ARTU	56,42982	58,56046	-0,39	-0,18	-0,21	0,57	0,57	0,58
IRKJ	52,21902	104,31618	-0,03	-0,81	-0,44	0,56	0,56	0,57
NRIL	69,36183	88,35978	0,25	-1,09	2,03	0,54	0,54	0,57
SVTL	60,53286	29,78088	-1,08	-0,15	2,14	0,60	0,60	0,61
NOVM	55,03050	82,90949	0,68	-0,83	-0,32	0,65	0,65	0,67

— уточненные координаты и ковариационные матрицы поправок к координатам станций глобальной сети.

Все перечисленные данные, а также суточные наборы исходных спутниковых наблюдений для станций глобальной сети IGS, были получены из центров анализа IGS: Массачусетского технологического института, Института океанографии Скриппса (Scripps Institution of Oceanography) и Сектора геодинамического мониторинга Единой геофизической службы РАН.

В результате уравнивания вычислялись следующие величины и характеристики ГНСС-станций Общества:

— декартовы геоцентрические координаты на срединный момент временного интервала наблюдений;

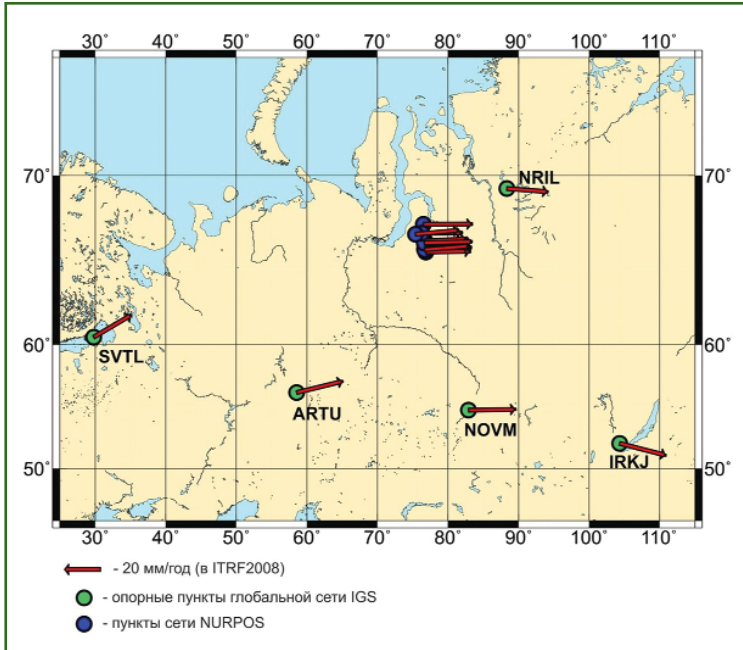
— скорости пространственного движения;

— средние квадратические ошибки координат и скоростей, определенные из полной ковариационной матрицы ошибок,

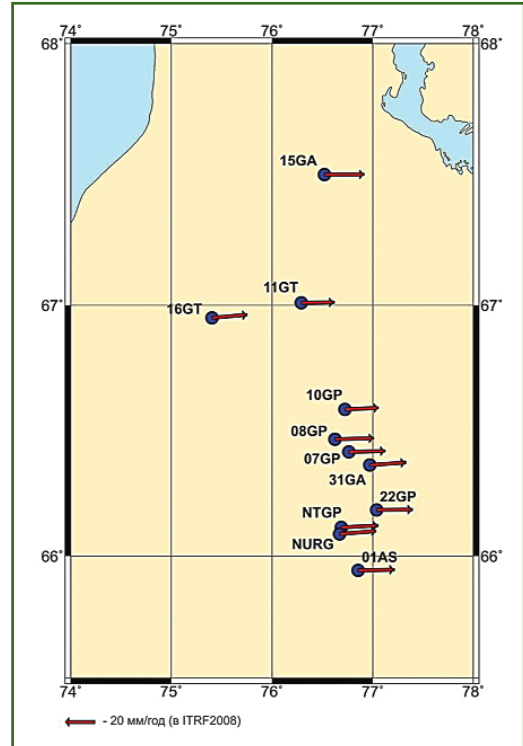
вычисленной в процессе уравнивания.

По итогам обработки суточных измерений были построены графики горизонтальных и вертикальных смещений базовых станций Общества в системе координат ITRF-2008 (график одной из станций сети с построением регрессионной модели движения станции приведен на рис. 1, где линией красного цвета обозначена регрессионная модель, а линией синего цвета — вычисленные смещения). Как видно на графиках смещений, периода наблюдений более 10 лет достаточно для уверенного выделения как горизонтальных (VN, VE), так и вертикальных (VU) трендов на фоне сезонных периодических колебаний. Приемлемая точность регрессионных оценок скоростей смещений станций подтверждается довольно малыми величинами средне-квадратических отклонений (СКО) этих оценок (см. таблицу).

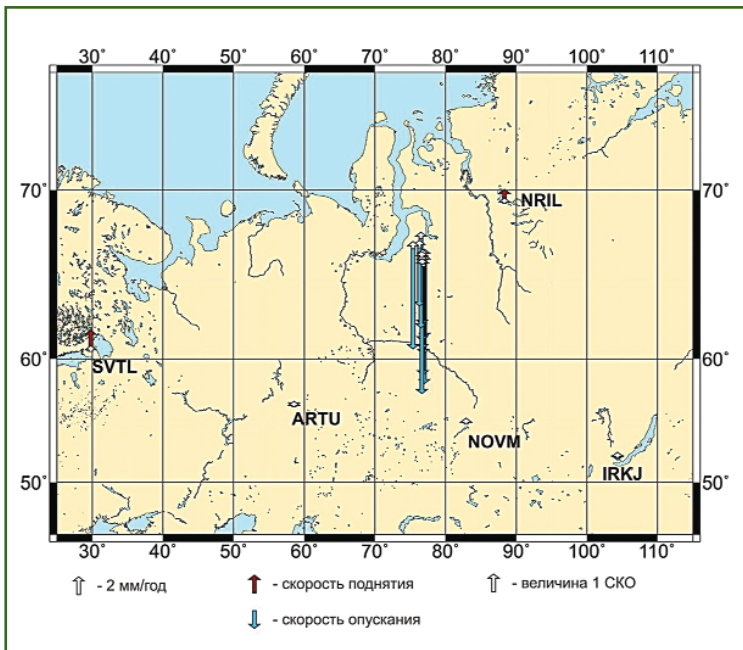
Вычисленные скорости смещения станций в проекциях на оси локальных топоцентрических координат были использованы для определения возможных смещений земной поверхности и геодинамического мониторинга состояния недр на территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения в процессе его эксплуатации. С этой целью горизонтальные и вертикальные компоненты скоростей были сопоставлены с кинематикой Евразийской литосферной плиты в пределах ее сегмента, подстилающего указанную территорию (рис. 2–5). Совместный анализ горизонтальных компонент движения ГНСС-станций Общества и ближайших станций глобальной сети IGS в целом показывает их соответствие по величине и направлению (таблица, рис. 2, 4) и свидетельствуют о том, что территория Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения не испытывает существенных горизонтальных смещений



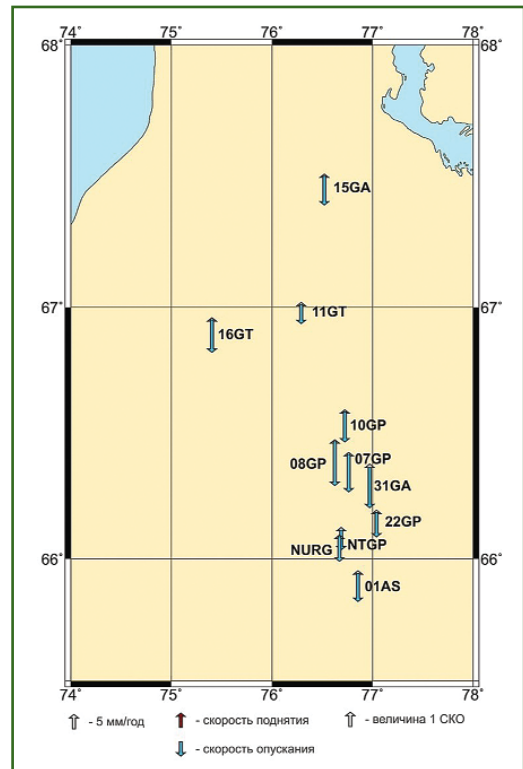
**Рис. 2**  
 Горизонтальные компоненты (VN, VE) скоростей движения базовых ГНСС-станций Общества и близлежащих пунктов глобальной сети IGS



**Рис. 4**  
 Горизонтальные компоненты (VN, VE) скоростей движения базовых ГНСС-станций Общества в системе координат ITRF2008



**Рис. 3**  
 Вертикальные компоненты (VU) скоростей движения базовых ГНСС-станций Общества и близлежащих пунктов глобальной сети IGS



**Рис. 5**  
 Вертикальные компоненты (VU) скоростей движения базовых ГНСС-станций Общества

относительно Евразийской литосферной плиты.

В то же время совместный анализ вертикальных компонент смещения станций выявил систематическое опускание

точек земной поверхности со скоростями в основном в пределах 6–15 мм/год (таблица, рис. 3, 5).

В соответствии с общей концепцией тектоники плит, верти-

кальные тектонические движения эндогенного происхождения в пределах платформенных частей литосферных плит, к которым относится исследуемая территория, представляют собой деформационные процессы второго порядка малости, по сравнению с горизонтальными, что подтверждается незначительными величинами вертикальных скоростей станций IGS [4].

Для проверки возможной взаимосвязи между объемами добычи пластовых флюидов, в частности, природного газа и воды, и наблюдаемыми вертикальными смещениями земной поверхности был выполнен корреляционный анализ этих величин.

По результатам исследований было установлено следующее.

1) Для большинства ГНСС-станций Общества обнаруживается сильно-выраженная или средне-выраженная линейная

зависимость между объемами добытого газа/воды и зарегистрированными вертикальными смещениями.

2) Характер взаимосвязи между добычей углеводородов и опусканием земной поверхности требует дальнейшего детального изучения с привлечением более длинных временных рядов наблюдений с более коротким периодом осреднения.

3) Наблюдаемые средствами космической (спутниковой) геодезии смещения земной поверхности происходят в верхних слоях осадочного чехла и обусловлены, в основном, производственно-хозяйственной деятельностью Общества.

4) Существующие значения деформаций, вычисленных по результатам обработки измерений на базовых ГНСС-станциях Общества, существенно ниже допустимых, а геодинамическая опасность на данной стадии раз-

работки Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения — отсутствует.

#### ▼ Список литературы

1. Билянский В.В. Результаты обработки нулевого цикла GPS-измерений на базовых GPS-станциях геодинамического полигона на разрабатываемых месторождениях углеводородов Ямало-Ненецкого автономного округа // Технический отчет. — Новый Уренгой, 2006. — 132 с.

2. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. GAMIT Reference Manual, Release 10.5. — Cambridge: MIT, 2010a. — 171 p.

3. Herring T.A. GLOBK, Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, Release 10.5. — Cambridge: MIT, 2010b. — 95 p.

4. Коган М.Г., Стеблов Г.М. Современная глобальная кинематика плит по данным GPS (1995–2007 гг.) в согласованной с плитами системе относимости // Геофизические исследования. — AGU, 2008. — Т. 113. — Вып. 4. — С. B04416, 1–17.



gisinfo.ru

 **КБ ПАНОРАМА**  
Геоинформационные технологии

# ГИС

Разработка и внедрение  
геоинформационных систем  
и технологий

АО КБ «Панорама»  
Россия, г. Москва, Пыжевский пер., д.5, стр.3.  
тел.: +7 (495) 739-0245, факс: +7 (495) 739-0244  
panorama@gisinfo.ru