

УДК 551.2; 539.3

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2016

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ЮЖНО-ПЕТЬЕГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Ю.В. Васильев**

Западно-Сибирский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 56)

## **ANALYSIS OF THE RESULTS OF SURVEYING AND GEODETIC OBSERVATIONS ON GEODYNAMIC TESTING GROUND SOUTH-PETIEGSKOIE FIELD**

**Iu.V. Vasilev**

West Siberian Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Petroleum Geology and Geophysics, named after A.A. Trofimuk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (56 Volodarskogo, Tyumen, 625000, Russian Federation)

Получена / Received: 27.06.2016. Принята / Accepted: 01.09.2016. Опубликовано / Published: 30.09.2016

*Ключевые слова:*

современные геодинамические процессы, геодинамический мониторинг, динамически напряженные зоны, зона геодинамического риска, высокоточные геодезические и гравиметрические измерения, геодинамическое районирование, тектонический разлом, мульда оседания земной поверхности, промышленная безопасность.

Научно-практический опыт эксплуатации нефтегазовых месторождений свидетельствует о том, что добыча углеводородного сырья формирует мощное техногенное воздействие на геологическую среду, которое приводит к нарушению напряженно-деформированного состояния массива недр месторождения. Это нередко сопровождается авариями на скважинах, межпластовыми перетоками, загрязнением водоносных горизонтов, может создать условия для оседания земной поверхности с последующим нарушением устойчивости и эксплуатационной надежности технологических объектов нефтегазового обустройства. Для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазодобычи на Южно-Петьегском месторождении создан геодинамический полигон для долговременного маркшейдерско-геодезического наблюдения, проведения многократных повторных наблюдений за современными деформационными процессами. Результаты третьего цикла высокоточных геодезических измерений, полученных геометрическим нивелированием II класса, за период 2014–2016 гг. выявили, что у большего числа наблюдательных пунктов геодинамического полигона высоты получили значительные отрицательные значения. Это свидетельствует о стабильном процессе оседания земной поверхности над обрабатываемой территорией, преимущественно в западной части месторождения, в зоне максимальных отборов жидкости и нефти. Выявлена зона геодинамического риска в районе площадки куста № 1. Анализ и интерпретация полученных результатов геодинамического мониторинга (нивелирование II класса, спутниковые наблюдения, высокоточная гравиметрия), эксплуатационных параметров разработки месторождений (техногенной нагрузки) и специфики природных геолого-тектонических условий позволили определить, что условием формирования вертикальных и горизонтальных деформаций земной поверхности является природно-техногенный фактор. Выявлена взаимосвязь формирования мульды оседания земной поверхности с динамикой плотностных характеристик, накопленной добычей нефти, падением пластовых давлений. Даны рекомендации по дальнейшему проведению геодинамического мониторинга на Южно-Петьегском нефтяном месторождении.

*Key words:*

contemporary geodynamic processes, geodynamic monitoring, dynamically stressed zones, geodynamic risk zone, high-precision geodetic and gravimetric measurements, geodynamic zoning, tectonic fault, Earth's surface subsidence's trough, industrial safety.

Research and practical experience of operating oil and gas fields shows that the production of hydrocarbons produces a powerful anthropogenic impact on the geological environment, which leads to disruption of the stress-strain state of the field's subsurface array. It is not seldom accompanied by well accidents, cross-flows, aquifers pollution, can create conditions for settling the Earth's surface to a subsequent breach of stability and operational reliability of the oil and gas technological arrangement. In order to ensure industrial safety of oil and gas facilities in the South Petiegskoie field a geodynamic testing ground was created for a long-term surveying and geodetic observations and multiple repeated observations of contemporary deformation processes. The results of the third cycle of high-precision geodetic measurements obtained by geometric leveling of the class II, for the period 2014-2016 years, revealed that a greater number of observation points of the geodynamic testing ground heights gained significant negative values. This indicates a stable process of Earth's surface subsidence over the undermined territories mainly in the western part of the field, in the zone of maximum fluid and oil production. A geodynamic risk zone was revealed in the region of the well pad №1. Analysis and interpretation of geodynamic monitoring results (leveling of the class II, satellite observations, high-precision gravimetry), operating field development parameters (anthropogenic impact) and specificity of the natural geological and tectonic conditions allowed to determine that the condition for the formation of vertical and horizontal ground deformation was natural and man-made factor. The correlation between the formation of the Earth's surface subsidence's trough and density characteristic's dynamics, accumulated oil production, reservoir pressures falling was revealed. Recommendations for the further conducting of geodynamic monitoring of the South Petiegskoie oil field were given.

**Васильев Юрий Владимирович** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник (моб. тел.: +007 904 496 83 55, e-mail: radan92@list.ru).

**Iurii V. Vasilev** – PhD in Geological and Mineralogical Sciences, senior researcher (mob. tel.: +007 904 496 83 55, e-mail: radan92@list.ru).

## Введение

Южно-Петъегское нефтяное месторождение относится к Кеумскому лицензионному участку, расположенному в пределах Уватского района юга Тюменской области, в 125 км к востоку от пос. Уват. Площадь лицензионного участка составляет 4926 км<sup>2</sup>.

В 2007 г. в рамках программы геолого-разведочных работ пробурена поисковая скважина № 51, в результате испытания которой было открыто месторождение нефти в отложениях пласта БС<sub>6-7</sub> нижнемелового отдела усть-балыкской свиты. Основной пласт по запасам нефти на месторождении – БС<sub>6</sub> (88 % от общего объема запасов), который вскрыт на глубине 2290–2318 м, с общей толщиной отложений 14 м.

Геодинамический полигон на Южно-Петъегском месторождении ООО «РН-Уват-нефтегаз» был создан в 2012 г. на основании горно-геологического обоснования и технического проекта, разработанного в 2011 г. ООО «Горные технологии». Выполненные прогнозные оценки оседания земной поверхности составили 100 мм при падении пластового давления на 10 МПа. Предприятием ООО «Тюменский региональный геодезический центр» выполнены работы по закладке полигона, «нулевому», первому, второму и третьему циклам маркшейдерско-геодезических измерений, соответственно с 2012 по 2016 г.

В задачу работ входило получение количественных параметров вертикальных и горизонтальных сдвижений земной поверхности в результате отработки углеводородной залежи для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового промысла: технологических сооружений дожимной насосной станции (ДНС), центрального пункта сбора (ЦПС), кустовых площадок [1, 2].

Для обеспечения промышленной безопасности рассматриваемого месторождения и выявления условий формирования современных деформационных процессов использовался системный подход. Принципиальная схема геодинамического мониторинга включала всю совокупность базовых видов работ по геодезии (нивелирование, наблюдения по данным глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС-наблюдения)), геофизике (высокоточная гравиметрия), дистанционному зондированию земли (геодинамическое районирование),

нефтепромысловой геологии (отбор нефти и жидкости, пластовое давление). Анализ результатов геодинамического мониторинга по этой схеме необходим для определения степени комплексной оценки геодинамического риска с целью принятия управленческих решений по обеспечению эксплуатационной надежности технологических объектов нефтегазового обустройства [3, 4].

## Анализ работ по нивелированию II класса

Высокоточное нивелирование II класса осуществлялось с целью получения информации о вертикальных деформациях наблюдательных пунктов полигона Южно-Петъегского геодинамического полигона (ГДП). Схема нивелирной сети, состоящая из 4 линий, не изменялась с 2013 по 2016 г. Общая длина линий нивелирования составила 37 км двойного хода для 37 глубинных реперов (гл. рп.), в том числе 4 универсальных реперов (ун. рп.).

Анализ результатов камеральной обработки, оценка устойчивости и точности измерений позволяют сделать вывод о том, что нивелирование выполнено со средней квадратической ошибкой измерений 0,8 мм на 1 километр двойного хода [5].

Наибольшая величина понижения за период 2015–2016 гг. составила –249 мм (гл. рп. 24). Из 37 пунктов Южно-Петъегского ГДП, которые вошли в программу геометрического нивелирования 2016 г., на 28 зафиксировано понижение относительных отметок. Положительные изменения высот зарегистрированы на 5 пунктах наблюдения. Максимальное положительное изменение высоты получил репер 16 (+46 мм).

За период наблюдений (2014–2016 гг.) из 37 пунктов нивелированием выявлено 27 пунктов с отрицательными значениями вертикальных смещений. Наибольшая величина понижения за рассматриваемый период составила –376 мм (глубинный репер 17).

В целом результаты 3-го цикла высокоточных геодезических измерений, полученных геометрическим нивелированием II класса, за период 2014–2016 гг. выявили, что у большего числа пунктов ГДП высоты получили значительные отрицательные изменения. Это свидетельствует о стабильном процессе оседания земной поверхности над подрабатываемой территорией в западной части Южно-Петъегского месторождения (рис. 1).

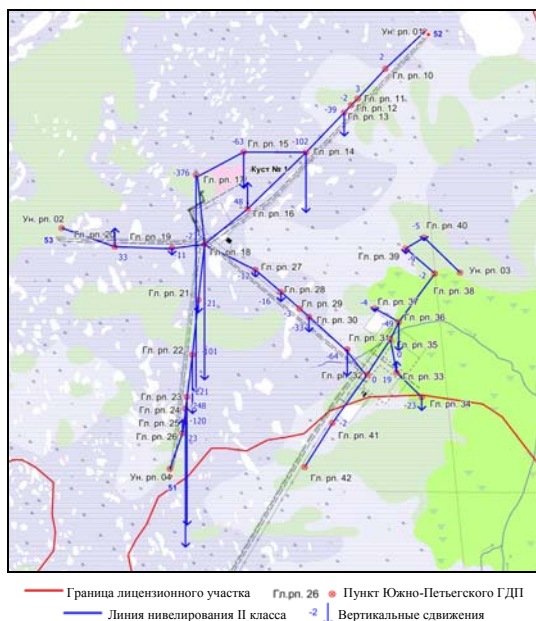


Рис. 1. Карта-схема вертикальных деформаций на Южно-Петьегском ГДП по данным нивелирования II класса повышенной точности за период 2014–2016 гг.

### Анализ гравиметрических измерений

Гравитационный мониторинг направлен на выявление динамических аномалий во времени сил тяжести Земли на дневной поверхности, которые обусловлены изменениями плотностных характеристик на глубине. Основной целью высокоточной гравиметрии являлось обеспечение геодинамического мониторинга сведениями о локальных изменениях поля силы тяжести неприливного характера, поскольку динамические аномалии обусловлены техногенным воздействием на геологическую среду в процессе разработки месторождения [6].

Инструментальные наблюдения на Южно-Петьегском ГДП выполнены гравиметрической аппаратурой марки CG-5 [7] по методике однократных измерений с центральным (исходным) пунктом в условном уровне без привязки гравиметрических наблюдений к уровню государственной гравиметрической сети. Среднеквадратическая погрешность единичного наблюдения составляет  $\pm 5$  мкГал. Общее число пунктов опорной гравиметрической сети – 36 реперов геодинамического полигона.

Камеральная обработка гравиметрических материалов осуществлялась в программе VECTOR [8]. Специально для решения задач по

изучению геодинамической ситуации на месторождениях и прилегающих территориях гравиметрическим методом в системе VECTOR реализована методика создания микрополигонов обработки из множества точек для последующего расчета горизонтальных градиентов с компьютерной тригоналлизацией участка съемки. Данный прием позволяет оптимизировать резко неоднородную сеть наблюдений:

- увеличить количество триангуляционных элементов для последующего расчета горизонтальных градиентов силы тяжести;
- обработать квазиплощадные системы наблюдений (когда схема наблюдений представляет облако точек) с последующим представлением материалов в площадном варианте;
- упростить процедуру ввода исходных данных.

Подобная процедура расширяет область применения системы VECTOR при обработке произвольных систем наблюдений (когда расстояние от пункта к пункту может отличаться на порядок) и позволяет представить материалы в площадном варианте.

В рамках технологии векторной обработки потенциальных полей разработана процедура автоматического расчета и построения динамической аномалии силы тяжести по двум сериям наблюдений на основе вычисления разностей полных векторов горизонтальных градиентов:

$$\delta \Delta g_{\text{дин}}(\Delta t) = \Delta g_2(t_2) - \Delta g_1(t_1),$$

где  $\delta \Delta g_{\text{дин}}$  – динамическая аномалия силы тяжести (изменение ускорения приращения силы тяжести за промежуток времени  $\Delta t$ );  $\Delta g_2$  – последующее наблюдение в период  $t_2$ ;  $\Delta g_1$  – первое наблюдение в период  $t_1$ .

При таком соотношении положительные динамические аномалии силы тяжести можно рассматривать как увеличение амплитуды гравитационного поля, а отрицательные – как уменьшение. Таким образом, по данным полученных значений силы тяжести были определены аномальные области увеличения значений (уплотнения – оседания территории) в северной и южной частях месторождения и уменьшения (разуплотнения – подъема территории) в центральной части, что свидетельствует о вертикальных перемещениях земной коры в результате эксплуатации месторождения. Это подтверждается при сопоставительном анализе

результатов нивелирования и высокоточной гравиметрии на Южно-Петъегском геодинамическом полигоне по двум циклам наблюдений за 2015–2016 гг. и за 2013–2016 гг., см. совмещенные карты-схемы и профиль (рис. 2–3).

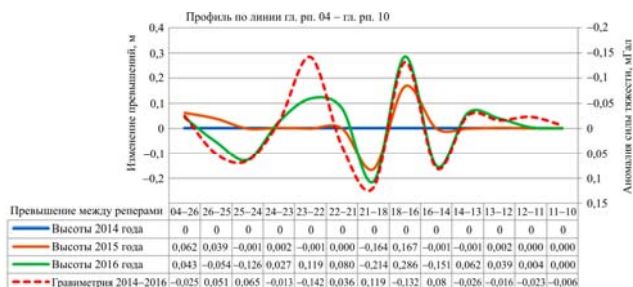


Рис. 2. Динамика вертикальных деформаций и плотностных характеристик сил тяжести Земли

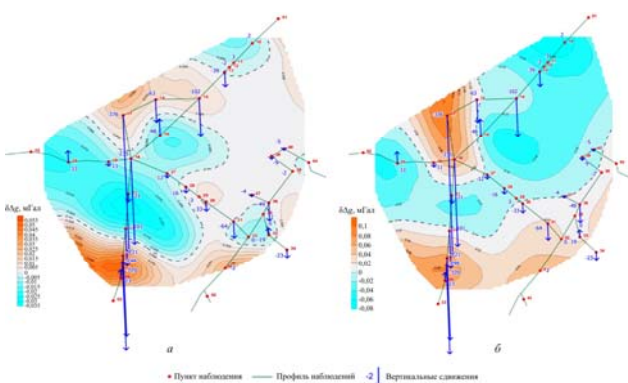


Рис. 3. Совмещение результатов нивелирования и гравиметрической съемки на Южно-Петъегском ГДП за период: *a* – 2015–2016 гг.; *b* – 2013–2016 гг.

### Анализ результатов спутниковых наблюдений

Высокоточные спутниковые геодезические наблюдения на пунктах Южно-Петъегского ГДП произведены с целью получения информации об относительных горизонтальных и вертикальных перемещениях земной поверхности. Программа ГНСС-наблюдений была спланирована таким образом, чтобы обеспечить непосредственные измерения всех пространственных векторов, соединяющих соседние пункты геодинамического полигона для фиксирования относительных смещений участков его земной поверхности.

Общая геодезическая сеть спутникового мониторинга Южно-Петъегского ГДП создана в виде системы 36 пунктов, различающихся по программам выполняемых на них наблюдений и по их роли в общей задаче построения сети. Центральным пунктом сети является глубинный

репер 35 (рис. 4). Координаты опорных пунктов в системе ITRF-определялись относительно ближайших пунктов мировой геодинамической сети (IGS), а именно «ARTU» (г. Арти около Екатеринбурга), «NRIL» (Норильск) и «NVSU»

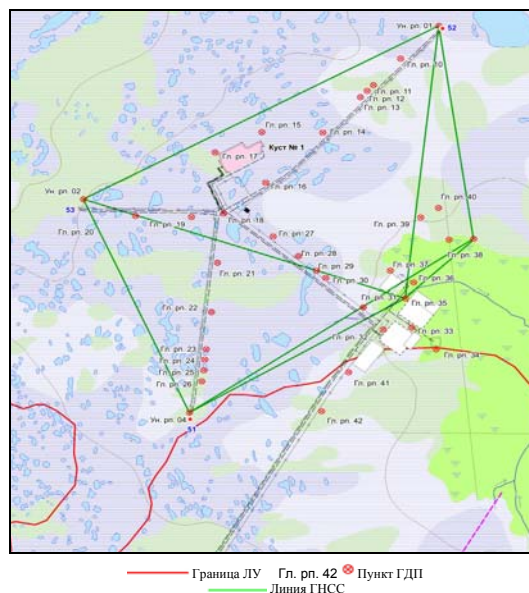


Рис. 4. Опорная геодезическая спутниковая сеть Южно-Петъегского геодинамического полигона

(Новосибирск), в процессе производства работ первого цикла наблюдений.

На опорных пунктах выполнены продолжительные наблюдения с кратковременными перерывами, связанными с сохранением данных на съемных носителях и сменой расстановок опорных пунктов. Эти наблюдения предназначены для повышения точности и однородности определения в этой системе всех остальных пунктов сети [9].

В результате уравнивания спутниковых геодезических измерений средняя квадратическая ошибка определения плановых координат центров Южно-Петъегского ГДП в цикле 2016 г. составила 2,2 мм. Средняя квадратическая ошибка определения геодезических высот пунктов составила 4,6 мм.

Максимальные значения горизонтальных сдвижений получили репер 15 (98 мм) и репер 17 (71 мм), расположенные вблизи куста № 1. Значительные сдвижения получили реперы, находящиеся вблизи строящегося водопровода: №№ 21 (33 мм), 22 (46 мм), 23 (31 мм), 24 (58 мм) и 25 (36 мм).

Результаты нивелирования и спутниковых наблюдений представлены на карте-схеме вертикальных и горизонтальных сдвижений, где

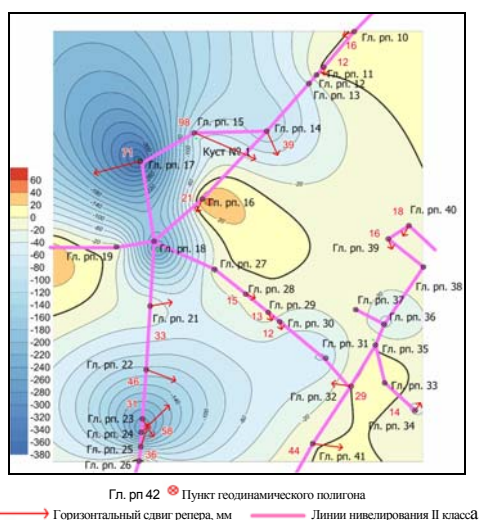


Рис. 5. Схема изолиний вертикальных и векторов горизонтальных деформаций на Южно-Петъегском ГДП за 2014–2016 гг.

прослеживается наличие максимальных вертикальных и горизонтальных деформаций наблюдательных пунктов геодинимического полигона в западной части месторождения (рис. 5).

#### Анализ природных геолого-тектонических условий

Анализ природных геолого-тектонических условий, которые определяют специфику современной геодинимики месторождения, формируют напряженно-деформированное состояние (НДС) массива недр месторождения и по определению зависят от регионального тектонического и гравитационного поля [10, 11]. Тектонофизические основы современной геодинимики свидетельствуют о том, что геодинимические процессы – это сложный комплекс взаимосвязанных деформационных, сейсмических, геохимических и флюидодинамических явлений, возникающих, как правило, в зонах локальных структурных неоднородностей геологической среды (тектонические разломы, природная и техногенная трещиноватость, плотностные неоднородности) [12–14].

В этой связи были продолжены работы по выявлению связи разломных структур по материалам уточненной в 2015 г. сейсморазведки 3D (ООО «Тюменский нефтяной научный центр»), с геодинимическим районированием по определению динамически напряженных зон (ДНЗ), которые отражают элементы дизъюнктивной тектоники на земной поверхности (рис. 6).

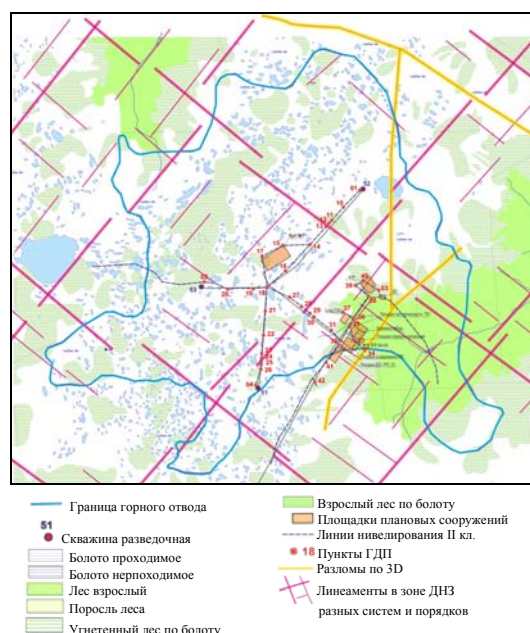


Рис. 6. Карта-схема геодинимического районирования Южно-Петъегского месторождения

Обобщение и анализ материалов по изучению геолого-тектонических условий позволили подтвердить ранее сделанные выводы и наметить некоторые уточнения:

- структура Южно-Петъегского поднятия имеет разломно-блоковое строение;

- зоны разломов контролируют структурный план поднятия, ограничивают блоки с максимальными нефтенасыщенными толщами, что требует учесть структурные особенности в строении поднятия для оценки возможных обширных просадок на месторождении, а также выявлять опасные деформации, возникающие в зонах разломов;

- выделенные тектонические разломы на основе анализа структурных карт по отражающему горизонту Б на глубинах порядка 2700 м имеют преимущественно северо-восточное и северное направление.

В восточной части месторождения проекция глубинного разлома проходит вблизи технологических сооружений центральной базы промысла ЦПС, ДНС, что может свидетельствовать о наличии зоны риска по природному геолого-тектоническому фактору. Однако результаты геометрического нивелирования при пересечении профильными линиями проекций тектонических разломов за рассматриваемый период (с 2014 по 2016 г.) не выявили аномального поведения высотных отметок наблюдательных пунктов геодинимического полигона.

Анализ инженерно-геологических условий рассматриваемого месторождения свидетельствует о наличии большой площади заболоченности и слабых грунтов (торфа) мощностью до 6 метров в его западной части. Согласно проекту обустройства на этой части территории отсутствуют капитальные здания и сооружения, кроме площадки куста № 1. Существующий технический коридор коммуникаций (автодорога, сборный нефтепровод, трасса воздушной линии), а также кустовая площадка здесь отсыпаны планировочным грунтом мощностью более 3 метров. Поскольку выемки торфа до минерального грунта не было произведено, насыпной слой грунтовой подушки располагается на «плавающей» торфяной основе. Поэтому оседание земной поверхности с максимальным значением –397 мм в пункте наблюдений № 17, который находится в районе кустовой площадки № 1, может являться экзогеодинамическим процессом, связанным с уплотнением насыпного слоя техногенных грунтов на поверхности интенсивного заболачивания в западной части месторождения [15].

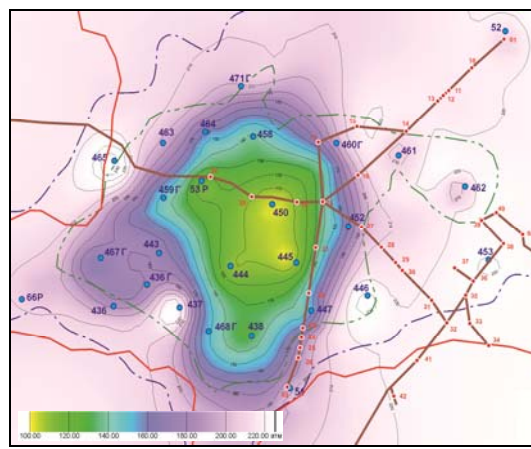
Территория площадных объектов нефтегазового обустройства Южно-Петьегского месторождения (с технологическими сооружениями центральной базы промысла) расположена в его восточной части на минеральных грунтах лесного массива, где зафиксированы оседания до –23 мм (репер 34) за период 2014–2016 гг. На этом участке относительные деформации не превышают допустимые и предельные согласно требованию [16].

### Техногенное влияние разработки месторождения на современные деформационные процессы

Основным пластом по запасам нефти на месторождении является пласт БС<sub>6</sub> (88 % от общего объема запасов). При анализе техногенного влияния отработки углеводородной залежи рассмотрены основные геолого-промысловые показатели на 01.01.2016 г., представленные отделом разработки ООО «РН-Уватнефтегаз».

По состоянию на 01.01.2016 г. пробурены, а в последующем испытаны 4 разведочные скважины и 17 эксплуатационных. Общее количество скважин – 29 единиц. С начала разработки месторождения добыто 2,8 млн т жидкости, в числе нефти – 1,3 млн т. Анализ пластовых давлений (по картам изобар) свидетельствует

о формировании депрессии в центральной части с падением от 23,0 МПа (начальное) до 17,0 МПа (текущее). На схеме накопленных отборов нефти, построенной в изолиниях количественных показателей добычи, в западной части месторождения отмечается зона максимальных значений. При совместном рассмотрении карт-схем пластовых давлений и накопленных отборов можно сделать вывод о том, что уже на начальной стадии промышленной разработки прослеживается техногенное влияние добычи углеводородного сырья на формирование современного процесса оседания в западной части месторождения (рис. 7, 8).



— Внутренний контур нефтеносности — Внешний контур нефтеносности  
Горный отвод 52 Скважины 110 Линии равных значений  
25 Пункт наблюдения Профиль наблюдений

Дата (по состоянию на)	Средневзвешенное значение $P_{пл}$ , кг/см <sup>2</sup>		Начальное пластовое давление, кг/см <sup>2</sup>	$P_{исп.}$ , кг/см <sup>2</sup>
	зона отбора	зона нагнетания		
01.02.2015	170	219	185	230
01.03.2015	171	221	186	
01.04.2015	172	221	187	
01.05.2015	172	221	187	
01.06.2015	171	222	187	
01.07.2015	170	217	185	
01.08.2015	170	218	185	
01.09.2015	166	210	180	
01.10.2015	168	218	183	
01.11.2015	167	213	182	
01.12.2015	166	214	181	
01.01.2016	167	216	182	
01.02.2016	169	217	184	
01.03.2016	169	217	184	

Рис. 7. Карта-схема изобар по состоянию на 01.02.2016 г. по пласту БС<sub>6-7</sub>

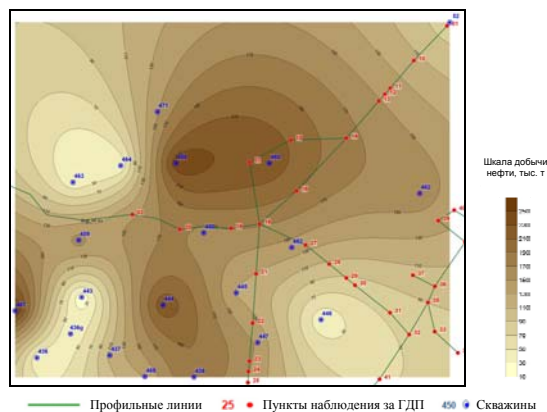


Рис. 8. Карта-схема накопленных отборов нефти по всем пластам на 01.01.2016 г.

Сопоставительный анализ результатов нивелирования и гравиметрии за период 2014–2016 гг. (по мульде оседания и динамическим аномалиям сил тяжести) свидетельствует о высокой корреляционной связи зон максимальных оседаний с аномальными зонами плотностных характеристик и подтверждает техногенное участие в формировании мульды оседания (см. рис. 3, б; 5).

Анализ и интерпретация результатов маркшейдерско-геодезических измерений на Южно-Петъегском геодинамическом полигоне с учетом данных геолого-промышленного мониторинга необходимы для определения степени техногенного влияния разработки на деформационные процессы, поскольку прослеживается взаимосвязь процесса оседания земной поверхности с динамикой пластовых давлений, отбора жидкости (нефти) по основным показателям разработки, плотностных характеристик по гравиметрии.

### Выводы

1. Результаты третьего цикла высокоточных геодезических измерений, полученных геометрическим нивелированием II класса, за период 2014–2016 гг. выявили, что из 37 пунктов ГДП высоты в 27 пунктах получили отрицательные значения. Это свидетельствует о стабильном процессе оседания земной поверхности над подрабатываемой территорией Южно-Петъегского месторождения.

2. Анализ результатов нивелирования позволил построить мульду оседания земной поверхности с максимальным значением – 397 мм в пункте наблюдений (репер 17), который находится в районе кустовой площадки № 1. Это может быть связано с экзогеодинамическим процессом при уплотнении насыпного слоя техногенных грунтов на поверхности интенсивного заболачивания в западной части месторождения.

3. Территория площадных технологических объектов нефтегазового обустройства месторождения расположена в его восточной части на минеральных грунтах лесного массива, где зафиксированы оседания до –23 мм (репер 34) за период 2014–2016 гг.

4. Векторы горизонтальных сдвижений наблюдательных пунктов, полученные по данным

ГНСС-наблюдений за 2014–2016 гг., имеют преимущественную восточную направленность. При этом максимальные значения горизонтальных сдвижений получили реперы 15 (98 мм) и 17 (71 мм), находящиеся вблизи куста № 1.

5. Результаты нивелирования при пересечении профильными линиями проекций тектонических разломов не выявили аномального поведения высотных отметок наблюдательных пунктов геодинамического полигона, поэтому влияние специфики природного геолого-тектонического фактора пока не подтвердилось.

6. Анализ, интерпретация результатов геодезических измерений, природных геолого-тектонических условий и техногенной нагрузки на недра свидетельствуют о том, что формирует выявленные деформации природно-техногенный фактор. При этом следует выделить зону геодинамического риска в районе площадки куста № 1.

7. Полученные результаты геодинамического мониторинга позволяют сделать вывод о том, что прослеживается взаимосвязь процесса оседания земной поверхности с динамикой пластовых давлений, отбора жидкости (нефти) по основным показателям разработки, аномалиям плотностных характеристик по гравиметрии в западной части месторождения.

8. Для более полного анализа характера деформационных процессов необходимо дополнить сеть глубинных реперов в областях наибольших выявленных сдвижений земной поверхности. Улучшить полноту восприятия целостной картины деформаций поможет применение методов дистанционного зондирования (радарной интерферометрии или высокоточной особо крупномасштабной аэрофототриангуляции), которое можно производить несколько раз в год [17–20]. Многократное в течение года производство дистанционного зондирования поможет понять причины деформаций земной поверхности, которые могут быть связаны не только с разработкой углеводородной залежи, но и с экзогеодинамическим процессом промерзания или оттаивания почвы, весенним снеготаянием, а также производством работ по отсыпке и выемке больших масс грунта.

## Список литературы

1. РД 07-408-01. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр [Электронный ресурс]. – URL: [http://snipov.net/c\\_4653\\_snip\\_109232.html](http://snipov.net/c_4653_snip_109232.html) (дата обращения: 24.06.2016).
2. РД 07-603-03. Инструкции по производству маркшейдерских работ [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/43/43121/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/43/43121/index.htm) (дата обращения: 24.06.2016).
3. Система обеспечения геодинамической и экологической безопасности при проектировании и эксплуатации объектов ТЭК: метод. рекомендации. – СПб.: ВНИМИ, 2001. – 86 с.
4. Концепция «Геодинамическая безопасность освоения углеводородного потенциала недр России» / В.А. Сидоров, Ю.О. Кузьмин [и др.]. – М.: ИГРГИ, 2000. – С. 56.
5. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Роскартография (ЦНИИГАиК), 2003. – 135 с.
6. ГКИНП (ГНТА)-04-122-03. Инструкция по развитию высокоточной государственной гравиметрической сети России. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 219 с.
7. Seigel H.O. A guide to high precision land gravimeter surveys. – Ontario, 1995. – 132 p.
8. Новоселицкий В.М., Простолупов Г.В. Векторная обработка гравиметрических наблюдений с целью обнаружения и локализации источников аномалий // Материалы 1-й всерос. конф. «Геофизика и математика». – М.: ИОФЗ РАН, 1999. – С. 104–107.
9. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем. – М.: ФСГиК РФ ЦНИИГАиК, 2002. – 55 с.
10. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. – М.: Недра, 2007. – 466 с.
11. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. – М.: Агентство экономических новостей, 1999. – С. 220.
12. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. – М.: Изд-во Моск. горн. ун-та, 2004. – 262 с.
13. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. – М.: МГГУ, 1999. – 287 с.
14. Хайн В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М.: Университет, 2005. – 560 с.
15. Трофимов В.Т. Экзогеодинамика Западно-Сибирской плиты. – М.: МГУ, 1986. – 288 с.
16. СП 22.133330.2011. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83 [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084710> (дата обращения: 24.06.2016).
17. Filatov A., Yevtyushkin A., Vasilev Y. Geodynamic monitoring of oil-and-gas fields using radar Interferometric data // Abstract 2nd Terrabites Symposium. Modelling the terrestrial biosphere: From Ecological Processes to Remote Sensing Observations. ESA/ESRIN, Frascati, Italy. 6–8 February 2012. – Frascati, 2012. – P. 52.
18. Ferretti A., Prati C., Rocca F. Permanent Non-linear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2000. – Vol. 38, is. 9. – P. 2202–2212.
19. Hoggerl N. Repeated levelling and vertical crustal movement. Problems and results // Proceedings of the Symposium Held in Vienna, Austria, September 13–14, 1979. – 1979. – Supl. 9. – P. 201–212. DOI: 10.1007/978-3-7091-8588-9\_20.
20. Васильев Ю.В., Яковлев С.И., Филатов А.В. Результаты мониторинга деформационных процессов методами высокоточной геодезии, гравиметрии, радарной интерферометрии на Самотлорском геодинамическом полигоне // Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 4. – С. 38–44.

## References

1. RD 07-408-01. Polozhenie o geologicheskomo i marksheiderskom obespechenii promyshlennoi bezopasnosti i okhrany neдр [Regulations on geological and surveying industrial safety security and protection of mineral resources], available at: [http://snipov.net/c\\_4653\\_snip\\_109232.html](http://snipov.net/c_4653_snip_109232.html).
2. RD 07-603-03. Instruktсии po proizvodstvu marksheiderskikh rabot [Instructions for the production of surveying works], available at: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/43/43121/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/43/43121/index.htm).
3. Sistema obespecheniia geodinamicheskoi i ekologicheskoi bezopasnosti pri proektirovani i ekspluatatsii ob"ektov TEK: metodicheskie rekomendatsii [Security system of geodynamic and environmental safety in the design and operation of FEC facilities: methodological recommendations]. Sankt-Petersburg: VNIMI, 2001, 86 p.
4. Sidorov V.A., Kuz'min Ju.O. et al. Kontseptsiiia «Geodinamicheskaiia bezopasnost' osvoeniia uglevodorodnogo potentsiala neдр Rossii» [The concept “Geodynamic development safety of the potential hydrocarbon resources of Russia”]. Moscow: IGRGI, 2000, 56 p.
5. GKINP (GNТА)-03-010-02. Instruktсии po nivelirovaniu I, II, III i IV klassov [Leveling manual of I, II, III and IV classes]. Moscow: Roskartografiia (TsNIIGAiK), 2003.
6. GKINP (GNТА)-04-122-03. Instruktсии po razvitiu vysokotochnoi gosudarstvennoi gravimetricheskoi seti Rossii [Instructions for the development of high-precision gravimetric Russian state network]. Moscow: TsNIIGAiK, 2004.
7. Seigel H.O. A guide to high precision land gravimeter surveys. Ontario, 1995, 132 p.
8. Novoselitskii V.M., Prostolupov G.V. Vektornaia obrabotka gravimetricheskikh nabliudeni s tsel'iu obnaruzheniia i lokalizatsii istochnikov anomalii [Vector processing of gravimetric observations to detect and locate



anomalies' sources]. *Materialy I vsrossiiskoi konferentsii «Geofizika i matematika»*. Moscow: IOFZ RAN, 1999, pp.104-107.

9. GKINP (ONTA)-02-262-02. Instruktsiia po razvitiu s'emochngo obosnovaniia i s'emke situatsii i rel'efa s primeneniem global'nykh navigatsionnykh sputnikovykh sistem [Instructions for the development of shooting justification and situations and relief shooting using global navigation satellite systems]. Moscow: FSGiK RF TsNIIGAiK, 2002.

10. Kashnikov Iu.A., Ashikhmin S.G. Mekhanika gornykh porod pri razrabotke mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ia [Rock mechanics in the development of hydrocarbon fields]. Moscow: Nedra, 2007, 466 p.

11. Kuz'min Iu.O. Sovremennaia geodinamika i otsenka geodinamicheskogo riska pri nedropol'zovanii [Modern geodynamics and assessment of geodynamic risk at subsurface use]. Moscow: Agentstvo ekonomicheskikh novostei, 1999, 220 p.

12. Kuz'min Iu.O., Zhukov V.S. Sovremennaia geodinamika i variatsii fizicheskikh svoystv gornykh porod [Modern geodynamics and variations of physical rock properties]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo gornogo universiteta, 2004, 262 p.

13. Petukhov I.M., Batugina I.M. Geodinamika nedr [Subsurface geodynamics]. Moscow: MGGU, 1999, p. 287.

14. Khain V.E., Lomize M.G. Geotektonika s osnovami geodinamiki [Geotectonics with the basics of geodynamics]. Moscow: Universitet, 2005, 560 p.

15. Trofimov V.T. Ekzogeodinamika Zapadno-Sibirskoi plity [Exogeodynamics of the West Siberian Plate]. Moscow: MGU, 1986, 288 p.

16. SP 22.133330.2011. Svod pravil osnovaniia zdaniy i sooruzhenii. Aktualizirovannaia redaktsiia SNiP 2.02.01-83 [Set of rules for the buildings' and structures' development. The updated edition of BNaR 2.02.01-83], available: URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200084710>.

17. Filatov A., Yevtyushkin A., Vasilev Y. Geodynamic monitoring of oil-and-gas fields using radar Interferometric data. *Abstract 2nd TERRABITES Symposium. Modelling the terrestrial biosphere: From Ecological Processes to Remote Sensing Observations. ESA/ESRIN, 6-8 February 2012. Frascati, 2012, p.52.*

18. Ferretti A., Prati C., Rocca F. Permanent Non-linear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2000, vol.38, is.9, pp.2202-2212.

19. Hoggerl N. Repeated levelling and vertical crustal movement. Problems and results. *Proceedings of the Symposium Held in Vienna, Austria, September 13-14, 1979, suppl. 9, pp.201-212*. DOI: 10.1007/978-3-7091-8588-9\_20.

20. Vasil'ev Iu.V., Iakovlev S.I., Filatov A.V. Rezultaty monitoringa deformatsionnykh protsessov metodami vysokotochnoi geodezii, gravimetrii, radarnoi interferometrii na Samotlorskom geodinamicheskom poligone [The results of monitoring deformation processes by methods of high accuracy geodesy, gravimetry and radar interferometry in the Samotlor geodynamic testing ground]. *Marksheiderskii vestnik*, 2015, no.4, pp.38-44.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Васильев Ю.В. Анализ результатов маркшейдерско-геодезических наблюдений на геодинамическом полигоне Южно-Петьегского месторождения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т.15, №20. – С.261–269. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.20.6

Please cite this article in English as:

Vasilev Iu.V. Analysis of the results of surveying and geodetic observations on geodynamic testing ground South-Petiiegskoe field. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2016, vol.15, no.20, pp.261–269. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.20.6