

УДК 556.3:550.348 (470.55/57)

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА НА ТОЧНОСТЬ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ****Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В., Владов Ю.Р.***ФГБУН «Оренбургский научный центр» Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, e-mail: geocol-ONC@mail.ru*

В данной статье рассмотрена проблема снижения точности определения координат с помощью GNSS-систем на разрабатываемых месторождениях углеводородов в условиях переотраженного сигнала. Подобная ситуация имеет место в случаях, когда месторождение расположено в лесистой местности, имеет сложный рельеф местности или съемки проводятся вблизи зданий и сооружений. Влияние переотраженного сигнала на точность определения координат оценивалось с помощью двух показателей: величины среднеквадратичного отклонения высотной отметки и величины DOP. Анализ опытных данных позволил авторам дать рекомендацию о необходимости избегать ситуации многолучевого распространения радиоволн при измерении деформаций земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов. Компенсировать влияние многолучевого распространения спутникового сигнала увеличением продолжительности наблюдения не представляется возможным. Продолжительность наблюдения целесообразно ограничить двумя часами.

**Ключевые слова:** геодинамические процессы, GNSS-системы, точность**THE IMPACT REFLECTED SIGNALS ON THE ACCURACY OF GLOBAL POSITIONING SYSTEMS TO MONITOR THE EARTH'S SURFACE DEFORMATIONS ON DEVELOPED HYDROCARBON DEPOSITS****Nesterenko M.Yu., Tsvyak A.V., Vladov Yu.R.***Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, e-mail: geocol-ONC@mail.ru*

In this article the problem of reducing the accuracy of the coordinates using the GNSS-systems developed by the hydrocarbon deposits under reflected signal. A similar situation occurs in cases where the field is located in a wooded area, has a difficult terrain or shooting are carried out near the buildings. Reflected signal to the positioning accuracy was assessed using two indicators: the value of the standard deviation of elevation and the amount of DOP analysis of experimental data allowed the authors to make a recommendation on the need to avoid a situation of multipath propagation in the measurement of ground deformation in the emerging hydrocarbon deposits. To compensate the effect of multipath satellite signals increases the duration of observation is not possible. The duration of observation is advisable to limit to two hours.

**Keywords:** geodynamic processes, GNSS-systems, accuracy

Интенсивная добыча нефти и газа в крупных нефтегазоносных районах нарушает природную, в том числе геологическую, среду, значительно перестраивает гидрогазодинамические и геодинамические процессы в земной коре на глубине до десяти и более километров и на площадях до нескольких тысяч квадратных километров. Создаются условия для возникновения ряда экологических проблем, существенно влияющих на развитие природы и качество жизни населения в регионе. В Западном Оренбуржье, расположенном на юго-востоке Восточно-Европейской платформы, более пятидесяти лет интенсивно эксплуатируются более сотни месторождений нефти. Высокая плотность месторождений углеводородов (УВ) и интенсивная их разработка обусловили техногенные изменения в геологической среде, особенно в ее водной

составляющей, на площадях до 5000 км<sup>2</sup>. В результате в крупных нефтегазоносных районах развиваются опасные техно-природные процессы в верхней части земной коры, повышается ее геодинамическая и сейсмическая активность [3, 4].

В связи с этим необходимо проведение мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности разрабатываемых месторождений нефти и газа и прилегающих территорий. Данные работы должны быть увязаны с маркшейдерскими работами по определению координат и высотного положения реперов.

Существует ряд методов контроля состояния движений земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых. Традиционно используются маркшейдерско-геодезические наблюдения по реперам профильных линий по методике

нивелирования I–II классов для определения оседаний поверхности и измерения длин линий между реперами для определения горизонтальных сдвижений и деформаций [5]. Однако в связи с большой площадью территории месторождений УВ, применение данных методов дорогостояще, занимает весьма продолжительное время и имеет свойство накапливания ошибки при увеличении числа ходов.

Недостаточные точность, надежность и достоверность повторных наблюдений исключают возможность решения поставленных маркшейдерских задач обеспечения промышленной безопасности и влекут напрасное вложение значительных средств в строительство и производство наблюдений.

Для определения горизонтальных и вертикальных сдвижений точек земной поверхности целесообразно использовать спутниковые наблюдения с применением глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS).

Применение данного подхода накладывает определенные требования к точности измерений и условиям, в которых они выполняются. В соответствии с инструкцией по нивелированию допускается погрешность в измерениях II класса не более 2 мм, III класса – 5 мм и IV класса – 10 мм [2].

В соответствии с технической документацией производителей GNSS-приемников при измерениях достигается точность по вертикали  $3,5 \text{ мм} + 0,4 \text{ ppm}$ , по горизонту –  $3 \text{ мм} + 0,1 \text{ ppm}$  [1]. При этом условия, в которых выполняются измерения, могут существенно изменить точность. Наиболее значимым является применение спутникового нивелирования для наблюдения за вертикальными деформациями на месторождениях нефти и газа в условиях переотраженного сигнала. Подобная ситуация имеет место в случаях, когда месторождение расположено в лесистой местности, имеет сложный рельеф местности или съемки проводятся вблизи зданий и сооружений.

С целью определения влияния многолучевого распространения радиоволн на точность определения координат с помощью GNSS-приемников нами проведены две серии опытов.

В первой – точка наблюдения располагалась в зоне переотраженного сигнала. Во второй серии точка наблюдения находилась в условиях «открытого неба». Для коррекции данных, полученных в точке наблюдения, использованы две базовые станции. Одна станция находилась в усло-

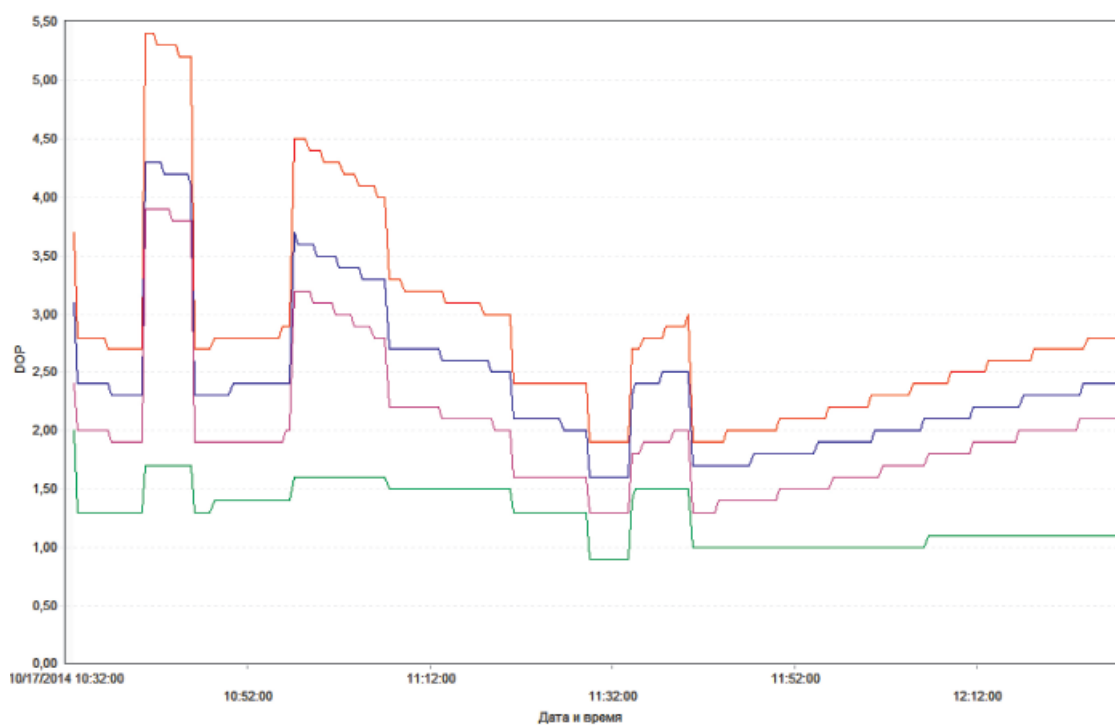
виях «открытого неба», вторая так же, как и точка наблюдения, в зоне переотраженного сигнала. Приемники базовых станций и приемник в точке наблюдения прикреплены с помощью резьбового соединения к фундаментальным реперам. Устройство фундаментальных реперов соответствует «Правилам закрепления центров на пунктах спутниковой геодезической сети» (Утверждены Роскартографией как дополнение к ГКИНП-07-016-91 от 07.05.2001 г.).

В качестве базовых станций использован собственный приемник Leica GS14 Viva GNSS и приемник Leica AR10 Viva GNSS, входящий в сеть референсных станций Смартнет. В качестве приемника, установленного в точке наблюдения, использован Leica GS08 + Viva GNSS в комплекте с контролером Leica CS10. Постобработка данных, полученных от приемников, проведена с помощью программного комплекса LEICA GeoOffice 8.3. Влияние переотраженного сигнала на точность определения координат GPS приемником оценивали двумя показателями: величиной среднеквадратичного отклонения высотной отметки и показателем DOP (снижение точности).

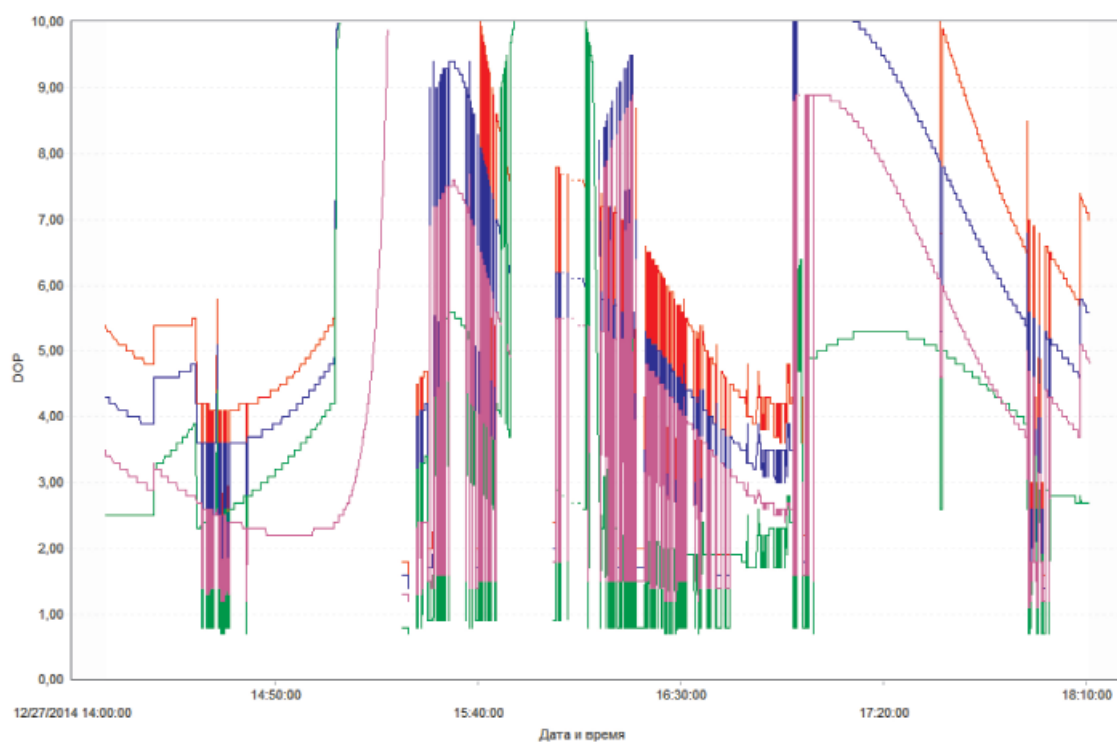
Используемое нами оборудование и программное обеспечение позволяет проводить оценку снижения точности по следующим показателям: полного снижения точности (GDOP), снижения точности в горизонтальной плоскости (HDOP), снижения точности в вертикальной плоскости (VDOP) и снижение точности по местоположению (PDOP).

Величина DOP зависит от взаимного расположения спутников и приемников спутникового сигнала и хотя «слабое» взаимное расположение спутников не является причиной погрешности в определении положения, однако большие значения DOP усиливают другие неточности. Соответственно, при высоких значениях DOP следует ожидать низкую точность определения координат, при низких значениях – высокую точность.

Наши наблюдения показали, что величину DOP можно назвать хорошей только в том случае, когда приемники на точке наблюдения и базовой станции находятся в условиях открытого неба и влияние многолучевого распространения радиоволн минимально (рис. 1, а). В этом случае величина GDOP большей частью наблюдений находится в пределах от двух до трех единиц. Такие значения свидетельствуют о достаточной точности для использования измерений при измерении деформаций



а



б

— GDOP  
 — PDOP  
 — HDOP  
 — VDOP

Рис. 1. График распределения DOP:  
 а – базовый приемник и приемник в точке наблюдения находятся в условиях открытого сигнала;  
 б – базовый приемник и приемник в точке наблюдения находятся в условиях переотраженного сигнала

земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов [6]. В отдельные промежутки времени величина GDOP может кратковременно возрастать, однако не превышая значений шести единиц. При любых других вариантах использовать результаты измерений можно только для грубого определения местоположения. Следует также отметить, что в том случае, когда приемник в точке наблюдения находится в зоне переотраженного сигнала, существуют промежутки времени, в которых прием сигнала глобальных навигационных

спутниковых систем отсутствует (рис. 1, б), что является неприемлемой ситуацией.

Показатель DOP дает косвенное представление о точности. Для прямой количественной оценки влияния многолучевого распространения радиоволн на точность определения координат, мы провели исследование зависимости среднеквадратичного отклонения (СКО) высотной отметки от продолжительности наблюдения в условиях переотраженного сигнала и открытого неба. Результаты исследования представлены на графиках рис. 2.



Рис. 2. График распределения среднеквадратического отклонения от продолжительности наблюдения:

а – точка наблюдения в зоне открытого сигнала;

б – точка наблюдения в зоне переотраженного сигнала

По результатам измерений можно сделать вывод, что для высокоточных измерений координат приемлем только вариант, при котором и базовая станция, и приемник, расположенный в точке наблюдения, находятся в условиях открытого неба. При этом, чем больше продолжительность наблюдения, тем выше точность определения координат. Для достижения значений СКО высотной отметки, равных одному сантиметру и менее, время наблюдения должно составлять от полутора часов и более.

### Заключение

Переотраженный сигнал резко снижает точность измерения координат с помощью GNSS-систем. Спрогнозировать погрешность измерения координат в условиях переотраженного сигнала не представляется возможным. Увеличение продолжительности наблюдения не позволяет компенсировать влияние многолучевого распространения спутникового сигнала. Корреляция между продолжительностью наблюдения и СКО в условиях переотраженного сигнала отсутствует. В связи с этим можно дать следующие рекомендации: для наблюдения за вертикальными деформациями на месторождениях нефти и газа необходимо избегать ситуации многолучевого распро-

странения радиоволн; измерения должны проводиться в условиях открытого неба. Выполнение данных условий позволяет достичь значений СКО высотной отметки менее одного сантиметра, что позволяет использовать технологии GNSS-наблюдений для мониторинга геодинамических процессов на месторождениях УВ. При этом продолжительность наблюдения целесообразно ограничить двумя часами.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-45-560579 p\_a.*

### Список литературы

1. Документация к приемнику Leica Viva GNSS GS14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-GS14\\_102200.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-GS14_102200.htm), свободный.
2. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. – М.: ЦНИИГАИК. 2004.
3. Нестеренко М.Ю. Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 135 с.
4. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Днистрянский В.И., Глянцев А.В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья // Литосфера. – 2010. – № 4. – С. 28–41.
5. Патент 2575469 RU / Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Владов Ю.Р., Владова А.Ю. Способ определения геодинамической активности недр разрабатываемого месторождения углеводородов. Оpubл. 12.11.2014. Бюл. № 5.
6. Langley Richard B. Dilution of Precision // GPS World. – May 1999. – P. 52–59.