

4  
НОМЕР



**ISSN 2304-9081**

Электронный журнал  
On-line версия журнала на сайте  
<http://www.elmag.uran.ru>

# БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



2016

**УЧРЕДИТЕЛИ**

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН  
ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© М.Ю. Нестеренко, А.В. Цвяк, 2016

УДК 502.7:504.058

*М.Ю. Нестеренко, А.В. Цвяк*

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ И ТОЧНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ GNSS-СИСТЕМ  
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА  
РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Оренбургский научный центр УрО РАН (Отдел геоэкологии), Оренбург, Россия

В статье рассмотрена проблема снижения точности определения координат с помощью GNSS-систем на разрабатываемых месторождениях углеводородов в условиях переотраженного сигнала. Анализа опытных данных позволил авторам дать рекомендацию о необходимости избегать ситуации многолучевости распространения радиоволн при измерении деформаций земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов.

*Ключевые слова:* геодинамические процессы, GNSS-системы, точность.

---

---

*M.Yu. Nesterenko, A.V. Tsviak*

**THE ASSESSMENT OF THE CAPABILITIES AND ACCURACY OF GNSS-SYSTEMS  
FOR MONITORING DEFORMATION OF THE EARTH'S SURFACE ON THE HY-  
DROCARBON DEPOSITS UNDER DEVELOPMENT**

Orenburg Scientific Center, UrB RAS (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

In this article the problem of reducing the accuracy of the coordinates using the GNSS-systems developed by the hydrocarbon deposits under Backlight signal. 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 the Earth's surface deformations on emerging hydrocarbon deposits.

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

Интенсивная добыча нефти и газа в крупных нефтегазоносных районах нарушает природную, включая геологическую, среду, значительно переотраивает гидрогазодинамические и геодинамические процессы в земной коре на глубины до десяти и более километров на площадях до нескольких тысяч квадратных километров. Создаются условия 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 газа и 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> [1].

В результате в крупных нефтегазоносных районах развиваются опасные техно-природные процессы в верхней части земной коры, повышается ее геодинамическая и сейсмическая активность.

В связи с этим необходимо проведение пространственно-временного мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности разрабатываемых месторождений газа и нефти 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. Однако в связи с большой площадью территории месторождений УВ применение данных методов дорогостоящее, занимает весьма продолжительное время и имеет свойство накопления ошибки при увеличении числа ходов.

Точность, надежность, достоверность и репрезентативность повторных наблюдений исключает возможность решения поставленных маркшейдерских задач обеспечения промышленной безопасности и влечет 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 (GPS, ГЛОНАСС, GALILEO) [2].

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 [3].

В соответствии с технической документацией производителей GNSS-приемников при измерениях достигается точность по вертикали 3,5 мм + 0,4 ppm, по горизонту – 3 мм + 0,1 ppm [4]. При этом условия, в которых выполняются измерения могут существенно изменить точность. Наиболее значимым является применение спутникового нивелирования для наблюдения за

вертикальными деформациями на месторождениях газа и нефти в условиях переотраженного сигнала.

С целью определения влияния многолучевости распространения радиоволн на точность определения координат с помощью GPS приемников нами были проведены две серии опытов.

В первой серии – точка наблюдения находилась в нише стены на южной стороне здания; во второй серии – точка наблюдения находилась в условиях открытого неба. Для коррекции данных полученных на точке наблюдения использовались две базовые станции. Одна станция находилась в условиях открытого неба, вторая так же, как и точка наблюдения, в нише стены на южной стороне здания, в зоне переотраженного сигнала. Приемники базовых станций и приемник на точке наблюдения крепились 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 использовался собственный приемник Leica GS14 Viva GNSS и приемник Leica AR10 Viva GNSS, входящий в сеть референсных станций Смартнет. В качестве приемника, установленного на точке наблюдения, использовался Leica GS08+ Viva GNSS в комплекте с контролером Leica CS10.

Постобработка данных, полученных от приемников, проводилась с помощью программного комплекса LEICA Geo Office 8.3.

Влияние переотраженного сигнала на точность определения координат GPS приемником оценивали двумя показателями: величиной среднеквадратичного отклонения высотной отметки и показателем DOP.

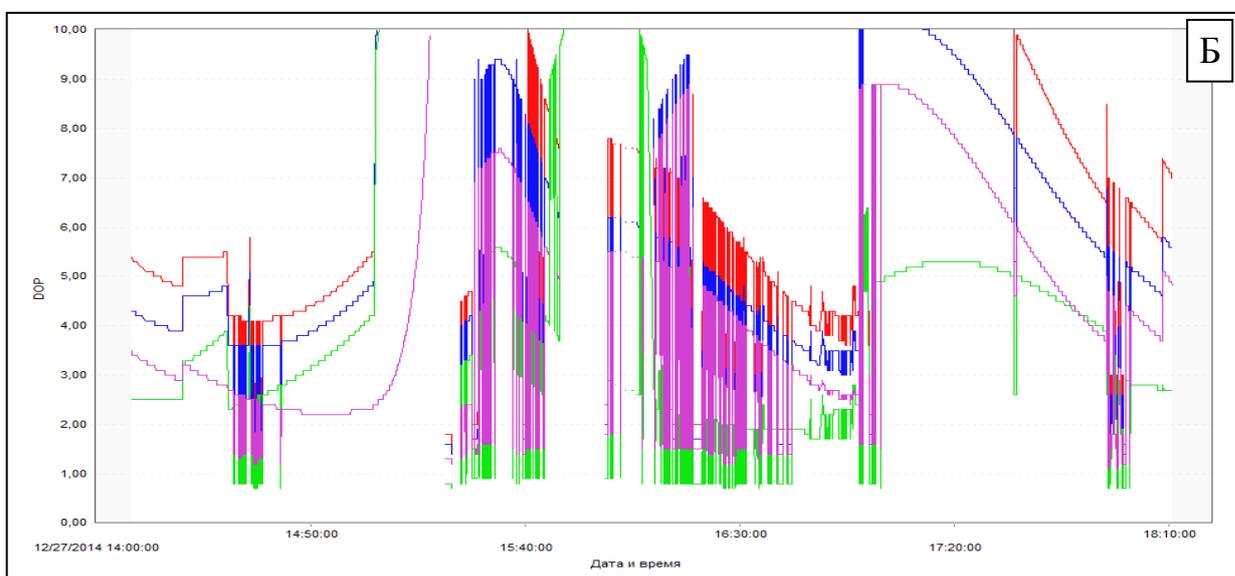
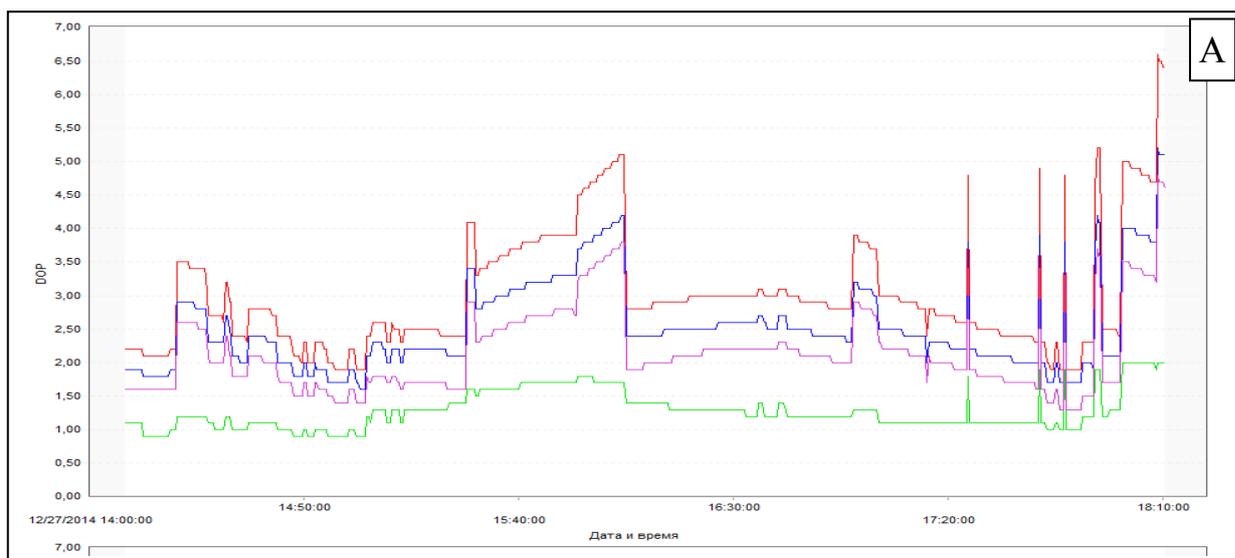
DOP (Снижение точности) – термин, использующийся в системах спутниковой навигации для описания силы геометрического взаиморасположения спутников друг относительно друга с точки зрения приемника. Когда спутники в области видимости находятся слишком близко друг к другу говорят о «слабой» геометрии расположения (высоком значении DOP), и, наоборот, при достаточной удаленности геометрию считают «сильной» (низкое значение DOP) [5]. Чем ниже величина DOP, тем выше точность измерения координат.

На снижение точности влияет несколько факторов:

- орбиты спутников;
- наличие объектов-помех, закрывающие необходимые области неба;
- влияние атмосферы;
- отражение радиоволн.

Хотя «слабое» взаимное расположение спутников не является причиной погрешности в определении положения, которое может быть измерено в метрах, но большие значения DOP усиливают другие неточности. Соответственно, при высоких значениях DOP следует ожидать низкую точность определения координат, при низких значениях – высокую точность.

Анализируя графики распределения показателя DOP, представленные на рисунке 1, можно сделать вывод, 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 многолучевости распространения радиоволн минимально.



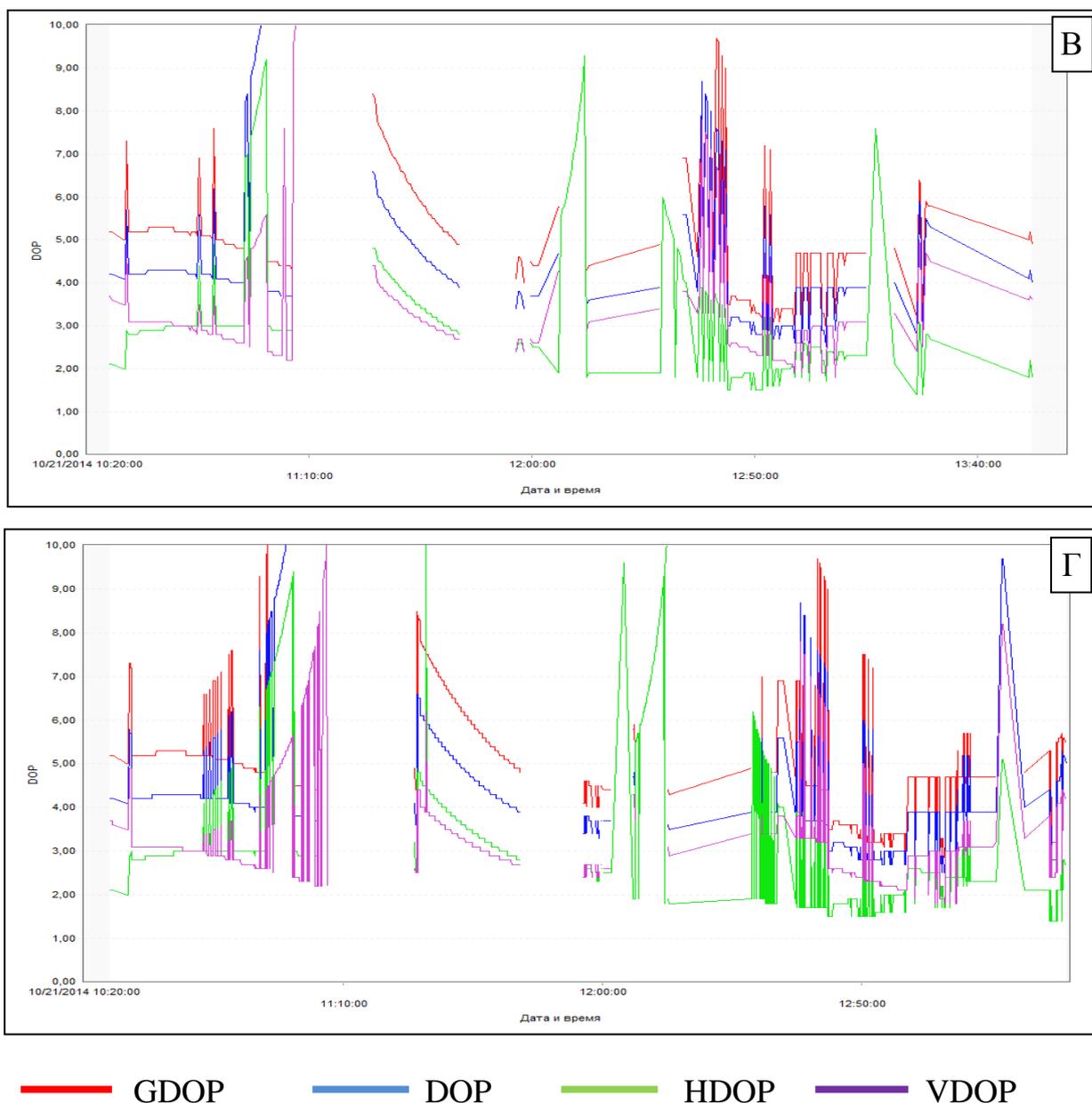


Рис. 1. График распределения показателя DOP:

А - базовая станция и приемник в точке наблюдения находится в условиях открытого неба; Б - базовая станция находится в зоне переотраженного сигнала, приемник в точке наблюдения находится в условиях открытого неба; В - базовая станция находится в условиях открытого неба, приемник в точке наблюдения находится в зоне переотраженного сигнала; Г - базовая станция и приемник в точке наблюдения находится в зоне переотраженного сигнала.

При любых других вариантах использовать результаты измерений можно только для грубого определения местоположения. Следует так же отметить, что в том случае, когда приемник в точке наблюдения находился в зоне переотраженного сигнала, существовали промежутки времени, в которых прием сигнала с GPS спутников отсутствовал (рис. 1Б и 1Г).

Показатель DOP дает косвенное представление о точности. Для прямой количественной оценки влияния многолучевости распространения радиоволн

на точность определения координат. Было проведено исследование зависимости среднеквадратичного отклонения (СКО) высотной отметки от продолжительности наблюдения в условиях переотраженного сигнала и открытого неба. Результаты исследования представлены на графиках рисунка 2.

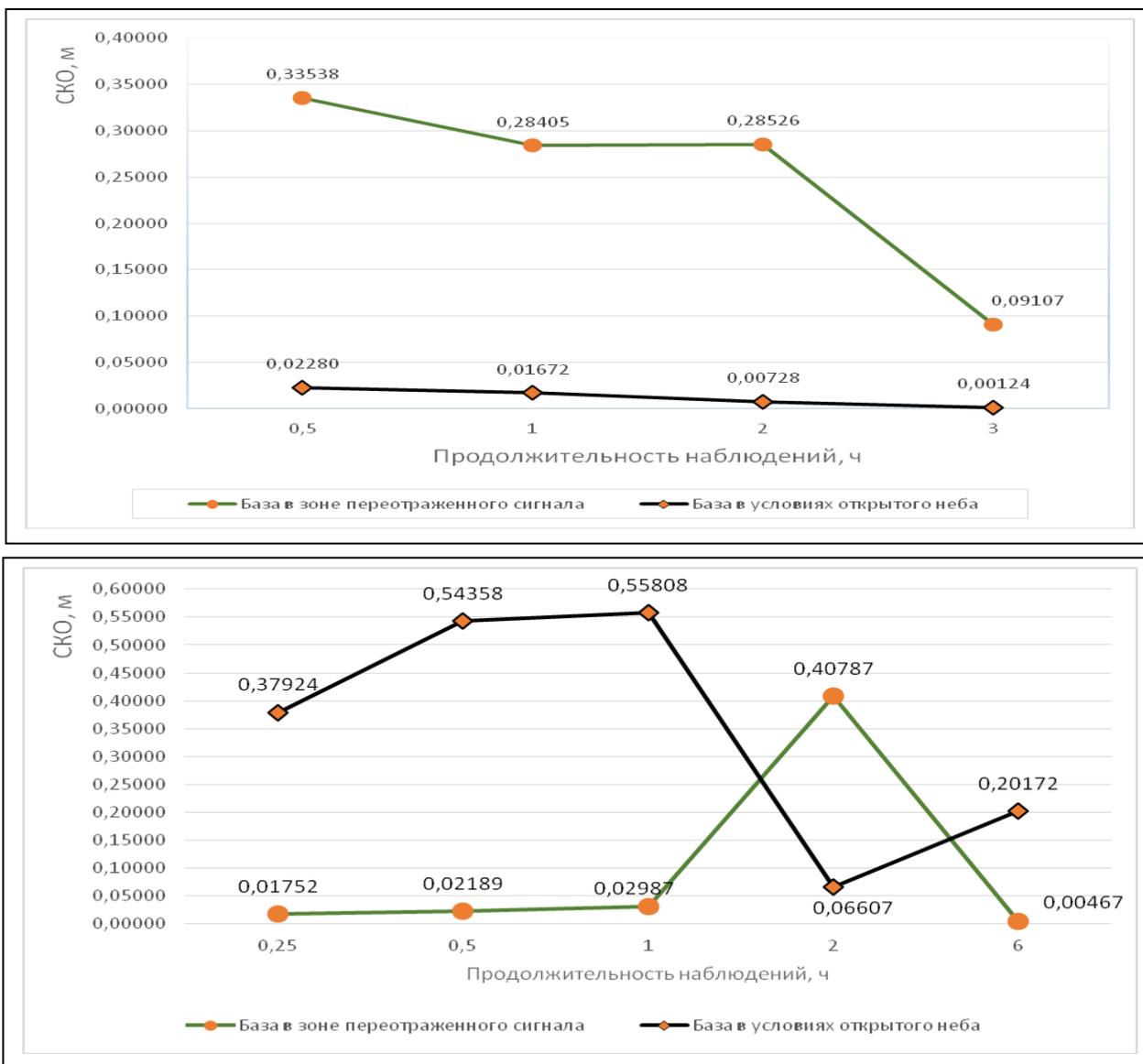


Рис. 2. Распределение среднеквадратического отклонения от продолжительности наблюдения (точке наблюдения в зоне открытого сигнала).

Для высокоточных измерений координат приемлем только вариант, при котором и базовая станция и приемник, расположенный на точке наблюдения, находятся в условиях открытого неба. При этом, чем больше продолжительность наблюдения, тем выше точность определения координат.

Для получения сантиметровой точности высотной отметки время наблюдения должно составлять не менее 1,5 ч.

## **Заключение**

Переотраженный сигнал крайне негативно сказывается на точности измерений. Спрогнозировать погрешность измерения координат в условиях переотраженного сигнала не представляется возможным. Компенсировать влияние многолучевости распространения спутникового сигнала увеличением продолжительности невозможно. 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 многолучевости распространения радиоволн; измерения должны проводиться в условиях открытого неба.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Нестеренко М.Ю. Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 135 с.
2. Цвяк А.В. Методологические основы мониторинга техногенно-природных геодинамических процессов с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (на примере Южного Предуралья). Международный научно-исследовательский журнал. 2016. 10: 160-163.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов ГКИНП (ГНТА)-03-010-03, МОСКВА, ЦНИИГАИК. 2004.
4. 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).
5. Langley Richard B. Dilution of Precision. GPS World. 1999. May: 52–59.

*Поступила 28.12.2016*

*(Контактная информация:*

**Нестеренко Максим Юрьевич** – д.г.-м.н., заведующий лабораторией антропогенеза в водных системах и геодинамике отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН; адрес: Россия, 460014, г. Оренбург, а/я 59; E-mail: [n\\_mu@mail.ru](mailto:n_mu@mail.ru);

**Цвяк Алексей Владимирович** – к.т.н, с.н.с. лаборатории антропогенеза в водных системах и геодинамике отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН; адрес: Россия, 460014, г. Оренбург, а/я 59; E-mail: [tsviak@rambler.ru](mailto:tsviak@rambler.ru))

---

---

## **LITERATURA**

1. Nesterenko M.Ju. Geojekologija neдр neftegazonosnyh rajonov Juzhnogo Predural'ja. Ekaterinburg: UrO RAN, 2012. 135 s.
2. Tsviak A.V. Metodologicheskie osnovy monitoringa tehnogenno-prirodnih geodinamičeskikh processov s ispol'zovaniem global'nyh navigacionnyh sputnikovyh sistem (na primere juzhnogo predural'ja). Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2016. 10: 160-163.
3. Instrukcija po nivelirovaniju I, II, III i IV klassov GKINP (GNTA)-03-010-03, MOSKVA, CNIIGAIK. 2004.
4. Dokumentacija k priemniku Leica Viva GNSS GS14 [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: [http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-GS14\\_102200.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-GS14_102200.htm), rezhim dostupa svobodnyj.
5. Langley Richard B. Dilution of Precision. GPS World. May 1999: 52-59.

**Образец ссылки на статью:**

Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В. Оценка возможности и точности применения gnss-систем для мониторинга деформаций земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2016. 4: 7с. [Электронный ресурс]. (URL: [http:// elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-4/Articles/MYN-2016-4.pdf](http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-4/Articles/MYN-2016-4.pdf)).