

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Г. А. Воронов<sup>1,2</sup>, А. А. Скворцов<sup>1,3</sup>, А. В. Воронова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ПАО «Газпром» ООО «Газпром геотехнологии», Москва, Россия;

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Россия;

<sup>3</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

**Аннотация:** В связи с вступлением в силу новых технических требований по планированию горных работ юридически закрепились нормы об организации систем наблюдений за деформациями объектов поверхности участков недр в отношении всех видов полезных ископаемых. Таким образом, расчет параметров маркшейдерской наблюдательной станции на таких объектах физико-химической геотехнологии, как подземные хранилища углеводородов, представляется актуальным. Проанализированы действующие нормативно-правовые акты и горно-геологические условия объектов недропользования с последующим абстрагированием на основные факторы, влияющие на организацию наблюдательной станции за деформационными процессами. Рассчитаны параметры наблюдательной станции с учетом горно-геологических условий недропользования. В результате проведенных исследований впервые получены аналитические выражения для определения количества рабочих реперов ГНСС-сети и сети нивелирования наблюдательной станции. Установлено, что при пологом залегании пластов в отсутствии геологических нарушений граница наблюдательной станции может быть определена усредненным граничным углом породной толщи и глубиной ведения горных работ. Границы наблюдательной станции могут быть оконтурены аналитически с учетом горно-геологических условий объекта недропользования: размеров горных разработок в плане, глубины ведения горных работ, усредненного граничного угла вмещающего и перекрывающего породных массивов.

**Ключевые слова:** маркшейдерские наблюдения, горно-геологические условия, геомеханические процессы, наблюдательная станция, мульда сдвижения, спутниковые наблюдения, нивелирование, рабочие реперы, граничный угол, породный массив.

**Для цитирования:** Воронов Г. А., Скворцов А. А., Воронова А. В. Расчет параметров наблюдательной станции в зависимости от горно-геологических условий недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-1. – С. 214–222. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_31\_0\_214.

### Parameter determination of observation station versus mining and geological conditions of subsoil use

G. A. Voronov<sup>1,2</sup>, A. A. Skvortsov<sup>1,3</sup>, A. V. Voronova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> «Gazprom geotechnology» LLC, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> People's Friendship University of Russia», Moscow, Russia

<sup>3</sup> National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

**Abstract:** In view of the commencement of new requirements on mining operational planning, the regulations have been set for the arrangement of observation stations for mining-induced ground surface deformation for all types of minerals. In this regard, parameter determination for survey stations at such objects of the physicochemical geotechnology as underground hydrocarbon storages is of the current concern. The regulatory and legal framework and the mining-and-geological conditions of subsoil use objects are reviewed with a special emphasis placed on the chief factors which have influence on arrangement of a deformation observation station. The observation station parameters are calculated with regard to mining- and geological conditions. As a result of the implemented research, the analytical expressions are for the first time ever obtained for determining the number of the control points of GNSS network and observation leveling network. It is found that in flat-lying beds, given no faulting, an observation station boundary can be defined by the averaged limit dip angle of the beds and by the depth of mining operations. The observation station boundaries can be delineated analytically, with regard to mining and geological conditions of a subsoil use object: area sizes of underground excavations, mining depth, averaged limit dip angle, thickness of enclosing and overlying rock masses.

**Key words:** mine survey, mining-and-geological conditions, geomechanical processes, observation station, subsidence trough, satellite observations, leveling, control points, limit angle, rock mass.

**For citation:** Voronov G. A., Skvortsov A. A., Voronova A. V. Parameter determination of observation station versus mining and geological conditions of subsoil use. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-1):214–222. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_31\_0\_214.

---

## **Введение**

В связи с вступлением в силу новых технических требований по разработке планов и схем развития горных работ юридически закрепились нормы об организации системы наблюдений за деформациями объектов поверхности участков недр в отношении всех видов полезных ископаемых. Наблюдения проводятся в соответствии с проектной маркшейдерской документацией по контролю за геомеханическими и геодинамическими процессами. Таким образом, определение области сдвижения земной поверхности и последующий расчет параметров системы наблюдений, являющихся неотъемлемыми элементами проекта маркшейдерских наблюдений за горным отводом, на таких объектах физико-химической геотехнологии, как подземные хранилища углеводородов (далее ПХУ), представляются актуальной темой исследования.

Целью исследования являлся расчет параметров наблюдательной станции за участком недр с учетом его горно-геологических условий.

Для достижения указанных целей предполагается решить следующие задачи:

- 1) определить критерии распространения границ проявления геомеханических и геодинамических процессов;
- 2) сформулировать аналитические выражения для расчета параметров систем наблюдений за горным отводом в зависимости от горно-геологических условий.

## **Методика исследования**

В результате анализа нормативных документов в области наблюдений за деформациями объектов поверхности [1–3] выявлено понятие типовой наблюдательной станции (сети) – совокупности реперов, заложенных по определенной системе на земной

поверхности, горных выработках и подрабатываемых объектах в целях наблюдения за движением земной поверхности и сооружений, в основном методами высокоточного геометрического нивелирования по профильным линиям [4–7] и ГНСС-измерениями по площадной сети спутниковых наблюдений [8–11] (рис. 1).

В совокупности реперов различают опорные — закладываемые за пределами области возможного сдвижения, т. е. границы проявления геомеханических и геодинамических процессов, общим числом не менее четырех, и рабочие — закладываемые в пределах области сдвижения, положение которых определяется относительно опорных реперов. При этом Инструкция [1] предполагает закладку не менее 2 опорных реперов с обоих концов профильной линии.

В соответствии с существующими представлениями [12–15] на рис. 2 представлена схема сдвижения горных пород в разрезе при пологом залегании пластов и отсутствии геологических нарушений.

Граница проявления геомеханических и геодинамических процессов на земной поверхности определяется граничными углами, проводимыми от нижней границы глубины ведения горных работ до земной поверхности, или по деформациям наклона  $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$  и растяжения  $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$  при длинах интервалов 15–20 м. При этом бывает три варианта подработки земной поверхности: неполная, полная и сверхполная подработка. Неполная подработка земной поверхности происходит в случае увеличения оседаний при дальнейшем увеличении разрабатываемого пространства в плане. В противном случае фиксируется полная и сверхполная подработка, приводящая к образованию плоского

дна в центральной части мульды сдвижения, определяемого углами полных сдвижений. В случае с ПХУ в российской практике не зафиксировано случаев полной и сверхполной подработки. Соответственно в дальнейшем будет рассматриваться ситуация неполной подработки.

Нормативными документами предписываются различные критерии размещения опорных реперов, так, инструкция [1] при пологом залегании пластов предполагает отнесение опорных реперов за границы, определяемые по углам сдвижения, уменьшенным примерно на  $20^\circ$ . Инструкция [2], основные положения которой вошли в ГОСТ [16], предписывает размещение опорных реперов за пределами зоны возможного сдвижения, определяемой граничными углами. Инструкция по нивелированию [17] при проектировании нивелирных сетей на техногенных полигонах определяет расстояние между границей месторождения и реперами, считаемыми неподвижными, равным восьмикратной глубине нижнего эксплуатируемого горизонта, но во всех случаях не менее 6 км (рис. 3).

При глубине ведения горных разработок 1 км, типичной для объектов подземного хранения углеводородов, соответствующий граничный угол составит около  $10^\circ$ , что в 4,5 раза меньше минимального значения для горных пород, приведенного в ГОСТ [16], и способно привести к необоснованному увеличению длин профильных линий, а следовательно, к увеличению расхода денежных средств и времени на закладку реперов и проведение наблюдений.

Проанализировав положения различных нормативных документов, можно сделать вывод, что оптимальным решением для определения мест закладки опорных реперов представляется их размещение за пределами

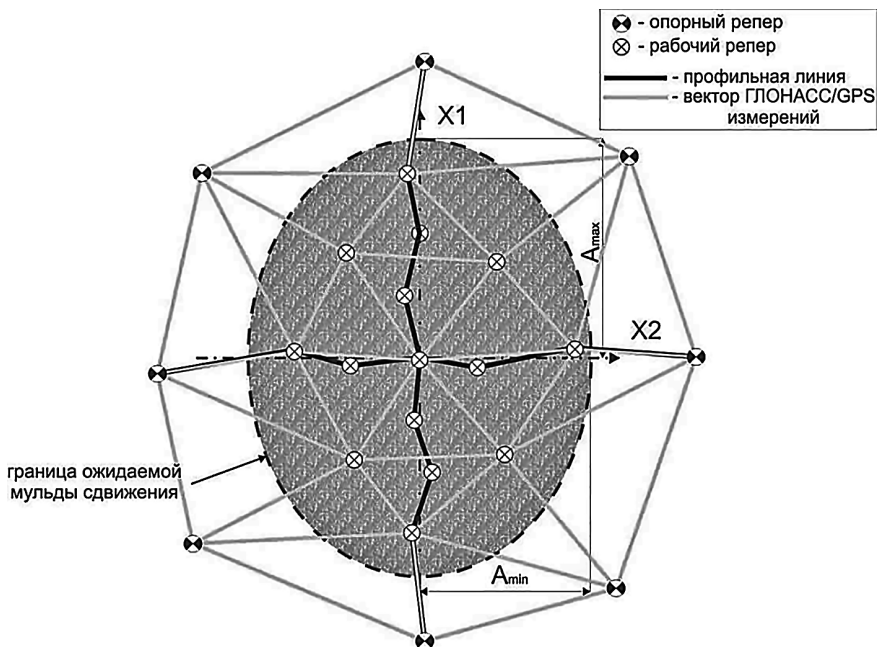


Рис. 1. Типовая наблюдательная станция  
Fig. 1. Typical observation station

границы проявления геомеханических и геодинамических процессов, определяемой граничными углами.

### Результаты

Таким образом, можно определить критерии распространения границ проявления геомеханических и геодинамических процессов. Эти критериями являются глубина ведения горных работ и угловые параметры сдвига: граничный угол и угол полных сдвижений при полной, или сверхполной подработке, что нехарактерно для объектов ПХГ. Граничные углы сдвига зависят от свойств горных пород и определяются опытным путём, или в случае отсутствия необходимых данных по табличным данным в зависимости от коэффициента крепости  $F$  по М. М. Протоdjяконову. Граница проявления геомеханических и геодинамических процессов при ведении горных работ — граница мульды сдвига

земной поверхности определяется аналитически или графически по линиям, проведенным под средневзвешенным граничным углом вышележащей породной толщи от нижней границы горных работ (рис. 4).

Значение средневзвешенного граничного угла определяется исходя из мощности слоев горных пород, составляющих разрез, по формуле 1:

$$\delta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{0i} \cdot m_i}{H}, \quad (1)$$

где  $\delta_0$  — усредненный граничный угол породной толщи, °;  $\delta_{0i}$  — граничный угол  $i$ -ого слоя, °;  $m_{oi}$  — мощность  $i$ -ого слоя, м;  $H$  — глубина ведения горных работ, м.

Структурные параметры системы наблюдений за горным отводом — параметры площадной сети спутниковых наблюдений и профильных линий нивелирования — определяются границами проявления геомеханических и геоди-

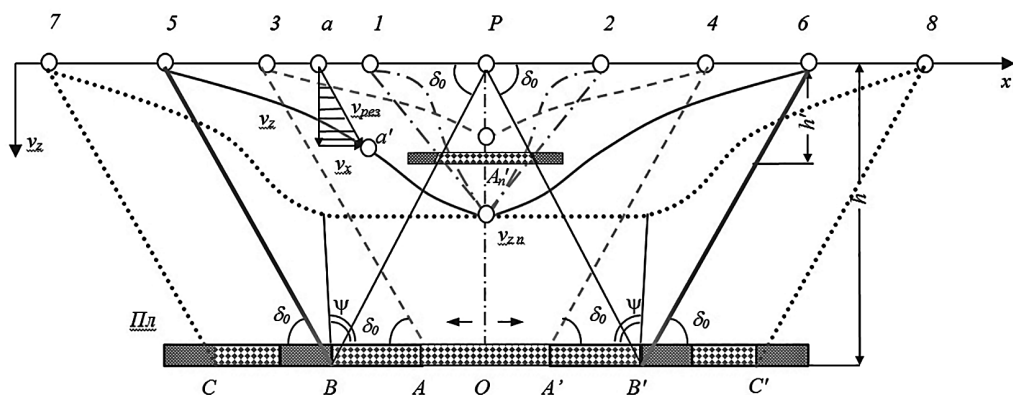


Рис. 2. Сдвигение горных пород в разрезе:  $\Pi_{л}$  – горизонт ведения горных работ;  $v_z$  – вертикальная составляющая сдвижения;  $v_x$  – горизонтальная составляющая сдвижения;  $v_{рез}$  – результирующий вектор сдвижения;  $\delta_0$  – граничный угол;  $\psi$  – угол полных сдвижений;  $h, h'$  – глубина ведения горных работ;  $O$  – середина выработанного пространства;  $P$  – точка на земной поверхности над серединой выработанного пространства до начала процесса сдвижения; 1–2 – точки мулды сдвижения;  $A-A'$  – границы выработанного пространства в плане при неполной подработке, с длиной мулды сдвижения 3–4;  $B-B'$  – границы выработанного пространства в плане при полной подработке с длиной мулды сдвижения 5–6;  $CC'$  – границы выработанного пространства в плане при сверхполной подработке с образованием плоского дна, с длиной мулды сдвижения 7–8;  $a$  – точка земной поверхности до начала процесса сдвижения;  $a'$  – точка мулды сдвижения;  $v_{zn}$  – максимальное оседание при полной подработке;  $A_n'$  – максимальное оседание при неполной подработке

Fig. 2. Rock movement in the section:  $\Pi_{л}$  – mining horizon;  $v_z$  – vertical component of movement;  $v_x$  – horizontal component of movement;  $v_{рез}$  – the resultant vector of movement;  $\delta_0$  – boundary angle;  $\psi$  – angle of full movements;  $h, h'$  – mining depth;  $O$  – middle of the goaf;  $P$  – point on the earth's surface above the middle of the goaf before the start of the movement; 1–2 – points of through;  $A-A'$  – boundaries of the goaf in the plan during not full undermining, with trough length 3–4;  $B-B'$  – boundaries of the goaf in the plan during full undermining, with trough length 5–6;  $CC'$  – boundaries of the goaf in the plan during super-full undermining with the formation of a flat bottom, with trough length 7–8;  $a$  – point of through before movement;  $a'$  – point of through;  $v_{zn}$  – maximum subsidence during full undermining;  $A_n'$  – maximum subsidence during not full undermining

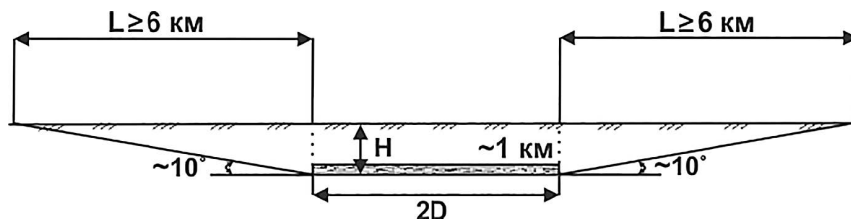


Рис. 3. Размещение опорных реперов согласно инструкции по нивелированию  
Fig. 3. The reference frames location according to the leveling instructions

намических процессов в плане. Исходя из требований действующих нормативных документов [18], предъявляемых к площадной сети реперов, были сформулированы: аналитические выражения

для расчета количества рабочих реперов площадной сети спутниковых наблюдений при близкой к эллиптической (2) и круговой формам (3) в плане объектов ведения горных работ.

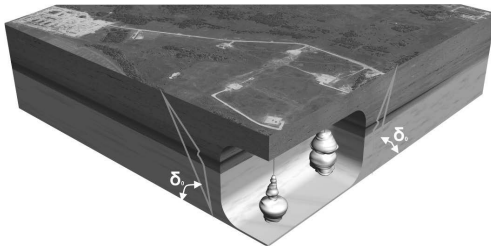


Рис. 4. Граничный угол породного массива  
Fig. 4. Boundary angle of the rock mass

$$r_G = \pi \cdot (D_{\max} + H \cdot \text{ctg} \delta_0) \cdot (D_{\min} + H \cdot \text{ctg} \delta_0) \cdot \rho, \quad (2)$$

$$r_G = \pi \cdot (D_0 + H \cdot \text{ctg} \delta)^2 \cdot \rho, \quad (3)$$

$$r \geq r_G + 4, \quad (4)$$

где  $r_G$  — количество рабочих реперов ГНСС-сети, шт;  $D_{\max}$  — максимальный размер ведения горных работ в плане, м;  $D_{\min}$  — минимальный размер ведения горных работ в плане, м;  $D_0$  — эквивалентный радиус горных работ в плане, м, рассчитываемый как,  $D_0 = \sqrt{D_{\max} \cdot D_{\min}}$ ;  $\rho$  — плотность размещения рабочих реперов на территории объекта горных работ, шт./м<sup>2</sup>, принимается  $\rho = 0,2 \cdot 10^{-6}$  шт./м<sup>2</sup>;  $r$  — количество опорных и рабочих реперов ГНСС-сети, шт.

В результате анализа требований [11] сформулированы аналитические выражения для расчета длин профильных линий и количества реперов в сети нивелирования при отсутствии тектонических нарушений и коридоров подземных коммуникаций:

$$L = 2 \cdot (D_{\max} + H \cdot \text{ctg} \delta_0) + 500, \quad (5)$$

$$l = 2 \cdot (D_{\min} + H \cdot \text{ctg} \delta_0) + 500, \quad (6)$$

$$r_N = \frac{\sum_{i=1}^k l_i}{v} + k - m, \quad (7)$$

где  $L$  — длина профильной линии вдоль максимального размера ведения горных работ в плане, м;  $l$  — длина профильной линии вдоль минимального раз-

мера ведения горных работ в плане, м;  $r_N$  — количество реперов сети нивелирования, шт;  $l_i$  — длина  $i$ -той профильной линии, м;  $v$  — расстояние между реперами по линиям нивелирования, м, принимается  $v = 300 \div 500$  м;  $k$  — количество профильных линий, шт;  $m$  — количество узловых реперов, шт.

### Заключение

Полученные результаты исследований могут быть использованы при обосновании структуры системы наблюдений за горным отводом, а также при расчете стоимости и норм времени на её создание.

Результаты проведенных исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

- при пологом залегании пластов и отсутствии геологических нарушений область сдвижения горных пород — граница системы наблюдений за состоянием горного отвода — может быть определена усредненным граничным углом породной толщи и глубиной ведения горных работ;

- параметры наблюдательной станции за состоянием горного отвода в плане могут быть определены аналитически, без сложных численных расчетов, с основной на горно-геологические условия недропользования: глубина ведения и размеры объекта горных работ в плане, граничный угол вмещающего и перекрывающего породных массивов.

Результатами дальнейших исследований могут являться расчетные выражения для определения параметров наблюдательной станции за геомеханическими и геодинамическими процессами в сложных горно-геологических условиях, например при наклонном залегании пластов, наличии различных геологических нарушений, разломов, флексур и др.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. — М.: Недра, 1989. — 96 с.
2. Инструкция по наблюдениям за сдвигами земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений. РД 07—166—97 (утв. постановлением Федерального горного и промышленного надзора России от 17 сентября 1997 г. N 29) // Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль: Сборник документов. Серия 07, выпуск 8. — М., 2010. — С. 102—176.
3. СТО Газпром 2-3.1-468-2010. Порядок разработки, согласования и утверждения проектной маркшейдерской документации в дочерних обществах и организациях ОАО «Газпром» (утв. распоряжением ОАО «Газпром» от 08.06.2010 № 151). — М.: ООО «Газпром экспло», 2010. — 46 с.
4. Воронов Г. А., Оксенкруг Е. С. Натурные исследования деформирования земной поверхности в результате эксплуатации, ликвидации и закрытия подземных емкостей в соляном массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2011. — № 2. — С. 131—136.
5. Santamaría-Gómez, A., Watson, C., Gravelle, M. et al. Levelling co-located GNSS and tide gauge stations using GNSS reflectometry // Journal of Geodesy, 2015, Vol. 89, is. 3, pp. 241—258. DOI 10.1007/s00190—014—0784-y.
6. Волков В. И., Волков Н. В. Условия эффективного применения геодезических методов на геодинамических полигонах нефтегазовых месторождений // Маркшейдерский вестник. — 2018. — № 2 (123). — С. 21—25.
7. Квятковская С. С., Фаттахов Е. А. Сравнительный анализ деформационных процессов на подземных хранилищах газа // Проблемы недропользования. — 2019. — № 4. — С. 38—48.
8. Воронов Г. А. Сравнение и анализ результатов постобработки данных спутниковых наблюдений с использованием навигационных систем ГЛОНАСС и GPS // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2018. — № 9. — С. 111—117. DOI 10.25018/0236—1493—2018—9-0—111—117.
9. Scaioni, M.; Marsella, M.; Crosetto, M.; Tornatore, V.; Wang, J. Geodetic and Remote-Sensing Sensors for Dam Deformation Monitoring // Sensors (Basel), 2018, № 18 (11), 3682. DOI: 10.3390/s18113682.
10. Bellone T., Dabove P., Manzano A. M. & Taglioretti C. Real-time monitoring for fast deformations using GNSS low-cost receivers // Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2016, Vol. 7, no. 2, pp. 458—470. DOI: 10.1080/19475705.2014.966867.
11. Nurrohmat Widjajanti, Sherly Shinta Emalia, Parseno. GNSS Monitoring Network Optimization Case Study: Opak Fault Deformation, Yogyakarta // Journal of Geospatial Information Science and Engineering, 2018, Vol. 1, no. 1, pp. 14—21. DOI 0.22146/jgise.38458.
12. Хлопцов В. Г., Баклашов И. В., Мастаков А. А. Инженерный метод прогноза механического состояния подработанного породного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2007. — № 5. — С. 105—110.
13. Смирнов В. И., Розанов А. Б., Баклашов И. В., Хлопцов В. Г. Сдвигение подработанного массива при строительстве и эксплуатации ПХГ // Газовая промышленность. — 1999. — № 4. — С. 23—25.
14. Смирнов В. И., Розанов А. Б., Баклашов И. В., Хлопцов В. Г. Оценка параметров сдвига земной поверхности над ПХГ в каменной соли // Газовая промышленность. — 1998. — № 11. — С. 24—26.
15. Никифоров С. Э. Маркшейдерский контроль состояния недр в условиях нефтегазодобычи // Маркшейдерский вестник. — 2011. — № 4 (84). — С.17—21.

16. Mezhgosudarstvennyi standart. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. GOST 31937 – 2011 [Interstate standard. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition. GOST 31937 – 2011], Moscow, Standartinform, 2014, 95 p.

17. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА)-03 – 010 – 02 (Приказ Федеральной службы геодезии и картографии России от 25 декабря 2003 г. N 181-пр). – М.: ЦНИИГАиК, 2003. – 134 с.

18. Инструкция по производству маркшейдерских работ. РД 07 – 603 – 03 (Постановление Федерального горного и промышленного надзора России от 6 июня 2003 г. N 73 «Об утверждении «Инструкции по производству маркшейдерских работ») // Нормативные документы по вопросам охраны недр и геолого-маркшейдерского контроля: Сборник документов. Серия 07, выпуск 15. – М., 2003. – 116 с. **МИАБ**

## REFERENCES

1. *Instruktsiya po nablyudeniya za sdvizheniem gornyykh porod, zemnoi poverkhnosti i podrabatyvaemyimi sooruzheniyami na ugol'nykh i slantsevykh mestorozhdeniyakh* [Instructions for monitoring of the rocks movement, the earth's surface, and structures under construction in coal and shale deposits], Moscow, Nedra, 1989, 96 p. [In Russ].

2. *Instruktsiya po nablyudeniya za sdvizheniyami zemnoi poverkhnosti i raspolozhennymi na nei ob"ektami pri stroitel'stve v Moskve podzemnykh sooruzhenii. RD 07 – 166 – 97* [Instructions for observing the movements of the earth's surface and objects located on it during the construction of underground structures in Moscow. RD 07 – 166 – 97], Okhrana neдр i geologo-marksheiderskii kontrol': Sbornik dokumentov. Seriya 07, vypusk 8. Moscow, 2010, pp. 102 – 176. [In Russ].

3. *STO Gazprom 2 – 3.1 – 468 – 2010. Poryadok razrabotki, soglasovaniya i utverzhdeniya proektnoi marksheiderskoi dokumentatsii v dochernikh obshchestvakh i organizatsiyakh OAO «Gazprom»* [Procedure for development, agreement and approval of project surveying documentation in subsidiaries and organizations of Gazprom] STO Gazprom 2 – 3. 1 – 468 – 2010], Moscow, OOO «Gazprom ekspoz», 2010, 46 p.

4. Voronov. G. A., Oksenkrug E. C. Full-scale studies of the earth's surface deformation as a result of operation, liquidation and closure of underground reservoirs in the salt massive, *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011, no. 2, pp. 131 – 136. [In Russ].

5. Santamaría-Gómez, A., Watson, C., Gravelle, M. et al. Levelling co-located GNSS and tide gauge stations using GNSS reflectometry, *Journal of Geodesy*. 2015, Vol. 89, is. 3, pp. 241 – 258. DOI 10.1007/s00190 – 014 – 0784-y.

6. Volkov V. I., Volkov N. V. Conditions for effective application of geodetic methods on geodynamic polygons of oil and gas fields, *Marksheiderskii vestnik*. 2018, no. 2 (123), pp. 21 – 25. [In Russ].

7. Kvyatkovskaya S. S., Fattakhov E. A. Comparative analysis of deformation processes in underground gas storage facilities. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2019, no. 4, pp. 38 – 48. [In Russ].

8. Voronov G. A. Comparison and post-processing results analysis of satellite observations using GLONASS and GPS navigation systems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 9, pp. 111 – 117. DOI 10.25018/0236 – 1493 – 2018 – 9-0 – 111 – 117. [In Russ].

9. Scaioni, M.; Marsella, M.; Crosetto, M.; Tornatore, V.; Wang, J. Geodetic and Remote-Sensing Sensors for Dam Deformation Monitoring, *Sensors (Basel)*. 2018, no. 18 (11), 3682. DOI: 10.3390/s18113682.

10. Bellone T., Dabove P., Manzano. A. M. & Taglioretti C. Real-time monitoring for fast deformations using GNSS low-cost receivers, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2016, Vol. 7, no. 2, pp. 458 – 470. DOI: 10.1080/19475705.2014.966867.

11. Nurrohmah Widjajanti, Sherly Shinta Emalia, Parseno. GNSS Monitoring Network Optimization Case Study: Opak Fault Deformation, Yogyakarta, *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*. 2018, Vol. 1, no. 1, pp. 14–21. DOI 0.22146/jgise.38458.



12. Khloptsov V. G., Baklashov I. V., Mastakov A. A. Engineering method for predicting the mechanical state of a sub-developed rock mass, *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2007, no. 5, pp. 105–110. [In Russ].

13. Smirnov V. I., Rozanov A. B., Baklashov I. V., Khloptsov V. G. Shifting of the under-worked array during UGS construction and operation, *Gazovaya promyshlennost'*. 1999, no. 4, pp. 23–25. [In Russ].

14. Smirnov V. I., Rozanov A. B., Baklashov I. V., Khloptsov V. G. Estimation of the earth's surface displacement parameters over UGS in rock salt, *Gazovaya promyshlennost'*. 1998, no. 11, pp. 24–26. [In Russ].

15. Nikiforov S. E. Surveying control of the subsurface state in the conditions of oil and gas production, *Marksheiderskii vestnik*. 2011, no. 4 (84), pp. 17–21. [In Russ].

16. *Mezhgosudarstvennyj standart. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [Mezhgosudarstvennyj standart. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya]. GOST 31937–2011 (vveden v dejstvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 27 dekabrya 2012 g. N 1984-st). Moscow: Standartinform, 2014. 95 p.

17. *Instruktsiya po nivelirovaniyu I, II, III i IV klassov. GKNP (GNTA)-03–010–02* [Instructions for leveling classes I, II, III and IV. GCYP (GNTA)-03–010–02], Moscow, TsNIIGAiK, 2003, 134 p. [In Russ].

18. *Instruktsiya po proizvodstvu marksheiderskikh rabot. RD 07–603–03* [Instructions for the surveying works production. RD 07–603–03], normativnye dokumenty po voprosam okhrany nedr i geologo-marksheiderskogo kontrolya: Sbornik dokumentov. Seriya 07, vypusk 15. Moscow, 2003, 116 p. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Воронов Геннадий Александрович*<sup>1,2</sup> — канд. техн. наук, главный маркшейдер-начальник службы, g.voronov@gazpromgeotech.ru, доцент Департамента недропользования и нефтегазового дела;

*Скворцов Алексей Александрович*<sup>1,3</sup> — канд. техн. наук, начальник отдела геомеханического и гидрогазодинамического моделирования — заместитель директора инженерно-технического центра, A.Skvortsov@gazpromgeotech.ru, доцент кафедры «Физических процессов горного производства и геоконтроля»;

*Воронова Анастасия Вадимовна*<sup>1</sup> — научный сотрудник отдела геомеханического и гидрогазодинамического моделирования;

<sup>1</sup> ПАО «Газпром» ООО «Газпром геотехнологии», Москва, Россия;

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Россия;

<sup>3</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Voronov G. A.*<sup>1,2</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Chief surveyor — head of service;

*Skvortsov A. A.*<sup>1,3</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department — Deputy Director of the engineering and technical center;

*Voronova A. V.*<sup>1</sup>, Researcher;

<sup>1</sup> «Gazprom geotechnology» LLC, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> People's Friendship University of Russia», Moscow, Russia

<sup>3</sup> National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russia

Получена редакцией 16.11.2020; получена после рецензии 07.12.2020; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 16.11.2020; received after the review 07.12.2020; accepted for printing 10.02.2021.