

УДК 528.2/3

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНАХ ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА: ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

Александр Николаевич Соловицкий

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и городского кадастра, тел. (384)239–63–85, e-mail: san.mdig@mail.ru

Изменения координат точек земной поверхности являются основой изучения деформационных процессов. В традиционных технологиях информационного обеспечения недр в настоящее время для сбора такой информации используются плоские модели земной коры, не обеспечивающие адекватность блокам земной коры. Такой подход не обеспечивает достоверность и представительность информации, что повышает уровень проявлений геодинамических явлений. Автором разработана теория геодезических построений при создании геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры при освоении угольных месторождений Кузбасса. Основным отличием предложенных геодезических построений является применение пространственной фигуры в качестве ячейки сети геодинамического полигона, что обеспечивает определение динамических параметров в глубине блока земной коры. Такой подход обеспечивает не только жесткость и надежность геодезической сети, но и эффективность.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, геодезические построения, блок земной коры, геодинамический полигон, ранг, геодинамические явления, кинематика.

Основой геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры (ГМНДСЗК) являются геодезические построения (ГП) на геодинамических полигонах (ГДП), которым уделяется немало внимания в открытой печати [1–4]. Выполненный анализ современного состояния изучения развития ГП на ГДП [4–16] позволил автору предложить следующую их классификацию:

- по целевому назначению;
- по функциональному назначению;
- по методам развития сетей;
- по технологии регистрации изменений координат мобильных пунктов;
- по методам математической обработки и интерпретации повторных наблюдений.

По целевому назначению ГП построения предлагается подразделять для изучения:

- природных геодинамических процессов;
- техногенных процессов;
- совместного проявления природных и техногенных процессов;
- предвестников землетрясений.

По функциональному назначению ГП предлагается классифицировать для изучения:

- ориентирования движений поверхности земной коры;
- ориентирования движений земной коры.

По методам развития сетей ГП построения предлагается подразделять на следующие:

- однопорядковые;
- многоступенчатые;
- развитые на пунктах государственной геодезической сети;
- построенные по индивидуальным проектам;
- специальные.

По технологии регистрации изменений координат мобильных пунктов геодезические построения предлагается классифицировать на следующие:

- классические;
- спутниковые;
- комбинированные.

По методам математической обработки и интерпретации повторных наблюдений геодезические построения предлагается подразделять:

- на классические (основанные на методе наименьших квадратов);
- математического моделирования;
- статистического моделирования;
- кибернетики.

Геодезические наблюдения за движениями поверхности земной коры в районах освоения угольных месторождений Кузбасса были начаты с первой половины прошлого века, однако до настоящего времени теория ГП на ГДП разработана слабо и в действующих нормативных документах мало освещена. При этом наименее разработана теория геодезических и гравиметрических построений ГДП [2, 4, 12, 13].

Основными составными частями любого мониторинга являются регистрация, оценка и прогноз. Реализация первой составляющей при создании ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений планируется на основе ГДП нового типа. Коренное отличие такого ГДП от существующих заключается в новой пространственной модели ячейки его ГП (ПМЯГП) [17–21]. Известно, что ранее в космической геодезии применялась пространственная триангуляция для проведения геодинимических исследований [22, 23]. Однако, предлагаемая ПМЯГП имеет существенные отличия от этой ранее используемой технологии (рис. 1).

Во-первых, такая ПМЯГП строится для каждого блока земной коры исследуемой территории, что обусловлено тем, что объектом исследования являются изменения напряженно-деформированного состояния трехмерного блочного массива горных пород. Во-вторых, она состоит только из системы мобильных пунктов (МП), что повышает представительность и достоверность информации.

В традиционных технологиях часто структура земной коры представляется одним МП. Кроме этого, система МП обеспечивает получение динамических параметров относительно центра тяжести этой пространственной фигуры, то есть блока земной коры. В-третьих, выбор местоположения МП регламентирован геометрией блока земной коры. Выбор местоположения МП автором предлагается осуществлять следующим образом: в наивысшей отметке блока (МП 1, рис. 2) и узлах пересечения его разломов (МП 2, 3, 4, 5). Это, по предложению автора, обеспечивает переход от изучения кинематики поверхности земной коры к изучению развития деформаций отдельных блоков земной коры, что не используется в существующей технологии построений ГДП.

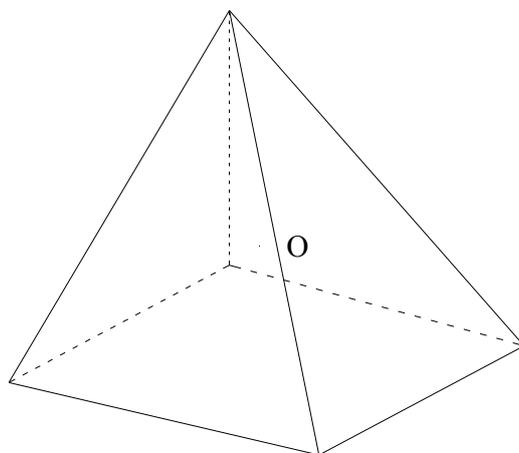


Рис. 1. Схема пространственной фигуры, образованной мобильными пунктами геодезических построений ГДП

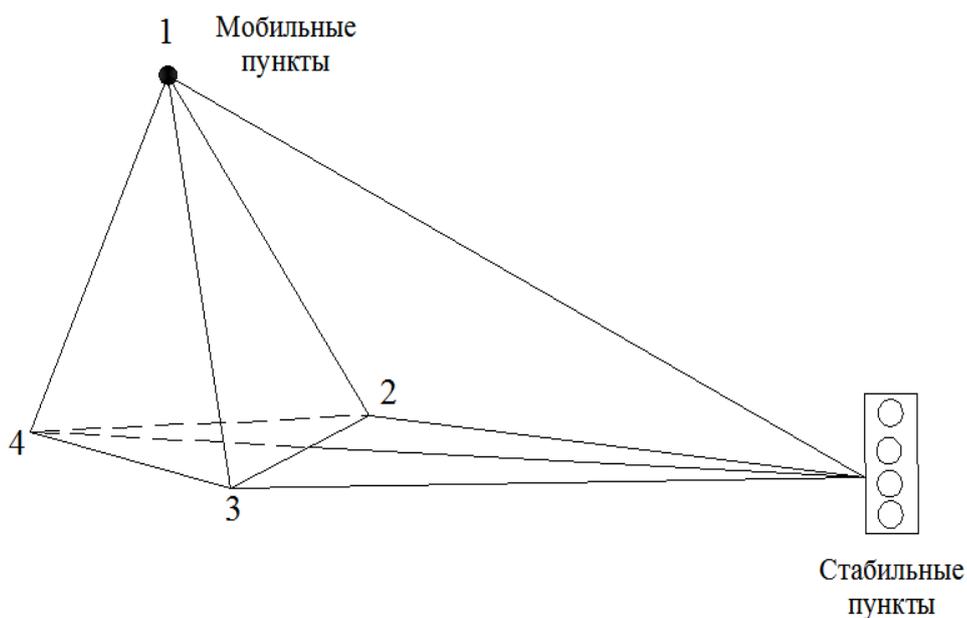


Рис. 2. Схема элементарной ячейки геодезических построений на ГДП

Расположение указанных выше пунктов на разных уровнях обеспечивается глубиной их закрепления (см. рис. 2, МП 2, 3, 4), которая должна быть соизмерима с глубиной проникновения разломов. Установлено, что глубина проникновения разломов является функцией его протяженности [24, 25]. По известной протяженности блоков земной коры L можно оценить глубину проникновения разлома H [24]

$$H = 3,89L^{0,76}.$$

В-четвертых, такая ПМЯГП не содержит высоколетящей над поверхностью Земли визирной цели, а полностью реализуется на поверхности и внутри исследуемого блока земной коры, что предложено впервые. В-пятых, геометрические требования к ПМЯГП зависят от ранга блока земной коры, который определяет его размеры, и, геодинамической обстановки, от которой зависит конфигурация. Для создания ГДП необходимо выделить на местности блоки земной коры [4, 26]. В-шестых, каждый МП предлагаемой ПМЯГП должен иметь связь со стабильными пунктами, их количество обусловлено необходимостью разрешения неоднозначности при применении спутниковых технологий определения координат и равно четырем. В-седьмых, стабильные пункты закрепляются в условно-стабильном блоке земной коры (УСБЗК). УСБЗК предлагается автором выделять из блоков одного ранга на основе выполнения критерия $[vv] = \min$, (где v – разности наивысших их отметок) [4, 17].

На рис. 3 приведен пример ГП для проведения ГМНДСЗК блока земной коры V -го ранга в районе шахты «Бутовская».

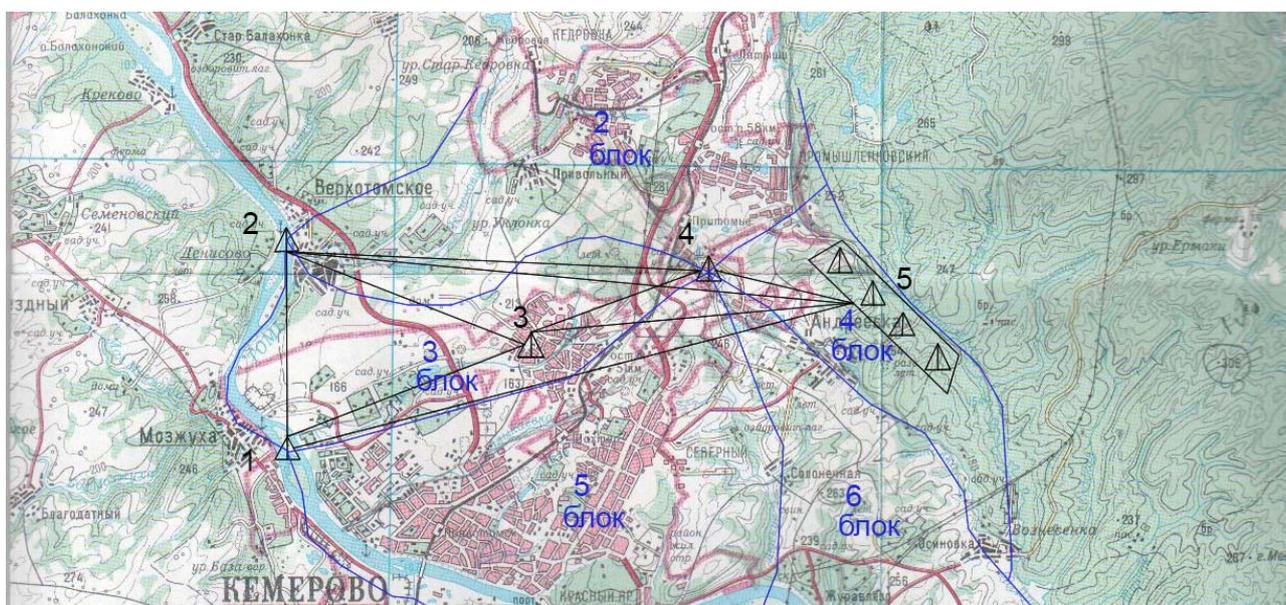


Рис. 3. Схема связи МП (1, 2, 3, 4) блока земной коры 3 со стабильными (5) (условно-стабильный блок земной коры 4)

Выбор УСБЗК приведен в таблице.

Выделение УСБЗК

Блок земной коры	Разности высот								[vv]
1	0	3,5	-38,1	-23,6	-25,4	-15,0	-23,9	-34,4	4 645,6
2	-3,5	0	-41,6	-27,1	-28,9	-18,5	-27,4	-37,9	5 841,8
3	38,1	41,6	0	14,5	12,7	23,1	14,2	-3,7	4 302,6
4	23,6	27,0	14,5	0	-1,8	8,6	-0,3	-10,8	1 690,1
5	25,4	28,9	-12,7	1,8	0	-10,4	-1,5	-9,0	1 836,3
6	15,0	18,5	-23,1	-8,6	-10,4	0	-8,9	-19,4	1 738,6
7	23,9	27,4	-14,2	0,3	-1,5	8,9	0	-10,5	1 715,4
8	34,4	37,9	-3,7	10,8	9,0	19,4	10,5	0	3 317,7

В-восьмых, предложенная схема связи МП со стабильными (см. рис. 2 и 3) является типовой и рекомендуется для комбинированных наблюдений, в том числе и гравиметрических. В-девятых, развитие геодезических построений ГДП отличается простотой, обладает гибкостью и обеспечивает поэтапность создания системы ГМНДСЗК (рис. 4).

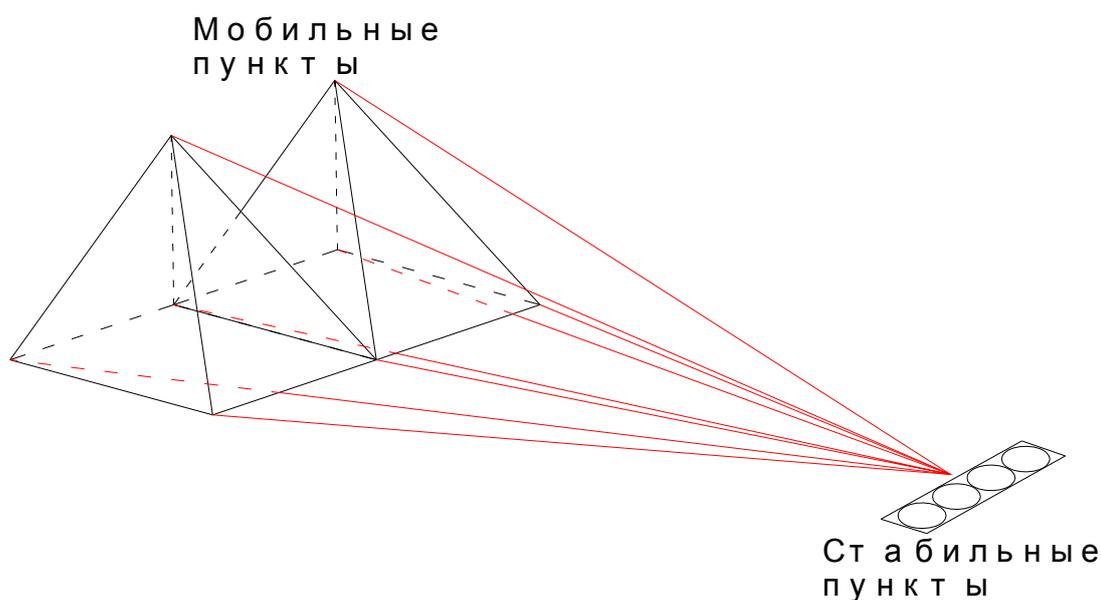


Рис. 4. Схема развития геодезических построений ГДП

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы:

1. Предложена типовая схема ГП ГДП, которая является унифицированной и рекомендуется для проведения как геодезических, так гравиметрических наблюдений.

2. ПМЯГП ГДП не только учитывает размеры и конфигурацию блоков земной коры и глубину проникновения разломов, но и обеспечивает определение динамических параметров в центре их тяжести.

3. Экономическая эффективность предлагаемых ГП ГДП заключается в поэтапности их введения и гибкости, а типовая схема обеспечивает минимум затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Новый этап развития геодезии – переход к изучению деформаций блоков земной коры в районах освоения месторождений // Вестник ССГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 3–9.
2. Серебрякова Л. И. О методическом руководстве по геодинамическим исследованиям в системе Росреестра // Геодезия и картография. – 2013. – № 10. – С. 45–50.
3. Мазуров Б. Т. Анализ геодезических измерений с учетом динамики объектов мониторинга // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 18–22.
4. Соловицкий А. Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. – 260 с.
5. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С., Лисицкий Д. В. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 22–29.
6. Solowizkij A. N. The characteristics of Kemerovo region's geodynamics // Journal of Shandong Mining Institute. – 1997. – Vol. 16. – P. 34–37 (кит.).
7. Пеллинен Л. П. Высшая геодезия. – М. : Недра, 1978. – 264 с.
8. Кафтан В. И., Серебрякова Л. И. Геодезические методы решения геодинамических задач // Итоги науки и техники. Серия. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1990. – Т. 28. – 129 с.
9. Журавков М. Н., Невельсон Н. С. Методы компьютерного моделирования, изучения и расчета основных характеристик процесса сдвижения породного массива // Маркшейдерский вестник. – 2000. – № 1. – С. 29–35.
10. Басманов А. В. Геодезический мониторинг Байкальского геодинамического полигона Росреестра // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 48–54.
11. Кафтан А. И., Красноперов Р. И., Юровский П. П. Графическое представление результатов определения движений и деформаций земной поверхности средствами глобальных навигационных спутниковых систем // Геодезия и картография. – 2010. – № 1. – С. 2–7.
12. Колмогоров В. Г. К вопросу возможности изучения деформационного состояния земной поверхности по результатам повторного высокоточного нивелирования // Вестник ССГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 9–14.
13. Савиных В. П., Певнев А. К., Ямбаев Х. К. Теория упругой отдачи, дилатансия, геодезия – прогноз // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 5. – С. 29–34.
14. Маркузе Ю. И., Ямбаев Х. К. Структурная схема мониторинга и алгоритм анализа деформаций земной коры по результатам спутниковых измерений на пунктах региональных референцных сетей // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 6. – С. 30–36.
15. Колмогоров В. Г., Асташенков Г. Г. О возможности изучения деформационного состояния земной поверхности по результатам повторного высокоточного нивелирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 16–18.
16. Серебрякова Л. И. Методика дифференциального описания деформаций и повторные спутниковые определения // Геодезия и картография. – 2014. – № 10. – С. 47–50.
17. Соловицкий А. Н. Особенности геодезических построений при создании геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры Кузбасса // International Research Journal. – 2016. – № 6 (48). – Часть 6. – С. 149–151.

18. Соловицкий А. Н. О мониторинге деформаций земной коры при подземной геотехнологии освоении недр // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – № 3. – С. 53–55.
19. Соловицкий А. Н. Об особенностях формирования системы контроля деформаций блоков земной коры при освоении угольных месторождений Кузбасса // Геодезия и картография. – 2012. – № 10. – С. 13–16.
20. Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Особенности технологии изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерское дело» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 58–61.
21. Карпик А. П., Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Технология изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 3–11.
22. Машимов М. М. Уравнивание геодезических сетей. – М. : Недра, 1979. – 367 с.
23. Глушков В. В., Насретдинов В. К., Шаравин А. А. Космическая геодезия: методы и перспективы развития. – М. : Институт политического и военного анализа, 2002. – 448 с.
24. Саньков В. А. Глубина проникновения разломов. – Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1989. – 136 с.
25. Шерман С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры. – Новосибирск : Наука, 1977. – 100 с.
26. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. – М. : Недра, 1988. – 166 с.

Получено 19.09.2016

© А. Н. Соловицкий, 2017

GEODETIC MONITORING OF THE INTENSE DEFORMED CONDITION OF CRUST OF KUZBASS : GEODETIC CONSTRUCTIONS

Aleksandr N. Solovitsky

Kuzbass State Technical University named T. F. Gorbachev, 650000, Russia, Kemerovo, 28 Wesennaya St., Ph. D., Associate Professor, Department of Highways and Urban Cadastre, tel. (384)239-63-85, e-mail: san.mdig@mail.ru

Changes coordinates of points on the earth's surface are the basis of studying the deformation processes. In the traditional information management technologies for exploitation of mineral resources at present to collect such information uses flat model of the earth's crust that do not ensure the adequacy of the crustal blocks. This approach does not guarantee the accuracy and representativeness of information that increases the level of the manifestations of geodynamic phenomena. The author developed the theory of geodetic constructions at creation of geodetic monitoring of the stress-strain state of the crust during the development of the coal deposits of Kuzbass. The main difference between the proposed geodesic constructions is the use of spatial shape as the cell network of the geodynamic polygon, which provides a definition of dynamic parameters in the depth of the earth crust block. This approach ensures not only the rigidity and reliability of a geodetic network, but also the efficiency.

Key words: geodetic monitoring, geodetic constructions, the blocks of the Earth's crust, geodynamic polygon, rank, geodynamic phenomenon, kinematics.

REFERENCES

1. Karpik, A. P., Kalenitskiy, A. I., & Solovitski, A. N. (2013). A new stage of development of geodesy—the transition to the study of the deformation of crustal blocks in the areas of development of deposits. *Vestnik SGGa [Vestnik SSGA]*, 3(23), 3–9 [in Russian].
2. Serebryakova, L. I. (2013). The methodological guide for the geodynamic research in the system of Federal registration service. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 45–50 [in Russian].
3. Mazurov, B. T. (2012). Analysis of geodetic measurements, taking into account the dynamics of monitoring objects. *Izvestia vusov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2/1, 18–22 [in Russian].
4. Solowizki, A. N. (2003). Integral method of monitoring the state of stress of a block of rock mass. Kemerovo State: *KuzSTU* [in Russian].
5. Gulyaev, Yu. P., Khoroshilov, V. S., & Lissitzky, D. V. (2014). About the correct approach to the mathematical modeling of deformation processes of engineering structures. *Izvestia vusov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4/C, 22–29 [in Russian].
6. Solowizki, A. N. (1997). The characteristics of Kemerovo region's geodynamics. *Journal of Shandong Mining Institute*, 16, 34–37.
7. Pellinen, L. P. (1978). *Higher Geodesy*. Moscow: Nedra [in Russian].
8. Kaftan, V. I., & Serebryakova, L. I. (1990). Geodetic methods for solving problems of geodynamic. Results of science and technology. *Izvestia vusov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 28, 129 p. [in Russian].
9. Zhuravkov, M. N., & Nevelson, N. S. (2000). Computer simulation methods, study and calculation of the main characteristics of the rock mass displacement process. *Marksheyderskiy vestnik [Mine Surveying Bulletin]*, 1, 29–35 [in Russian].
10. Basmanov, A. V. (2015). Geodesic monitoring Baikal geodynamic polygon Rosreestra. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(30), 48–54.
11. Kaftan, A. I., Krasnoperov, R. I., & Jurowski, P. P. (2010). Graphical representation of the results of the determination of movements and deformations of earth's surface by means of global navigation satellite systems. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 1, 2–7 [in Russian].
12. Kolmogorov, V. G. (2012). On the question of the possibility of studying the deformation of the Earth's surface as a result of repeated precision leveling. *Vestnik SGGa [Vestnik SSGA]*, 1(17), 9–14 [in Russian].
13. Savinykh, V. P., Pevnev, A. K., & Yambaev, H. K. (2013). The elastic rebound theory, dilatancy, geodesy forecast. *Izvestia vusov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 5, 29–34 [in Russian].
14. Marcuse, Y. I., Yambaev H. K. (2014). Block diagram of the monitoring and analysis algorithm crustal deformation as a result of satellite measurements in the areas of regional reference frames. *Izvestia vusov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 6, 30 – 36 [in Russian].
15. Kolmogorov, V. G., & Astashenkov, G. G. (2012). On the possibility of studying the deformation of the Earth's surface as a result of repeated precision leveling. *Izvestia vusov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2/1, 16–18 [in Russian].
16. Serebryakova, L. I. (2014). Methodology description differential strain and repetitive satellite determination. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 47–50 [in Russian].
17. Solovitskiy, A. N. (2016). Features of geodetic constructions to create geodetic monitoring of the stress-strain state of the Earth's crust Kuzbass. *Mejdunarodnij nauchnij journal [International Research Journal]*, 6(48), Part 6, 149–151 [in Russian].

18. Solovitsky, A. N. (2011). On monitoring crustal deformation in underground geotechnology development of subsoil. *Markshejderija i Nedropol'zovanie [Mine Surveying and Subsoil]*, 3, 53–55 [in Russian].
19. Solovitskiy, A. N. (2012). On control system peculiarities of crustal blocks deformation when developing the Kuzbass coal deposits. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 13–16 [in Russian].
20. Kalenitskiy, A. I., & Solovitski, A. N. (2012). The peculiarities of technology of studying changes of the deformations of the earth crust blocks in time during the development of deposits of Kuzbass. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderskoe delo [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Surveying]* (pp. 58-61). Novosibirsk: SGGGA [in Russian].
21. Karpik, A. P., Kalenitskiy, A. I., & Solovitski, A. N. (2013). The technology of studying the changes of the deformations of the earth crust blocks in time during the development of deposits of Kuzbass. *Vestnik SGGGA [Vestnik SSGA]*, 4(24), 3–11 [in Russian].
22. Mashimov, M. M. (1979). *Uravnivanie geodezicheskikh setey [Adjustment of geodetic networks]*. Moscow: Nedra [in Russian].
23. Glushkov, V. V., Nasretidinov, V. K., & Sharavin, A. A. (2002). *Kosmicheskaya geodeziya: metody i perspektivy razvitiya [Space Geodesy: methods and development prospects]*. Moscow: Institute of Political and Military Analysis [in Russian].
24. Sankov, V. A. (1989). *Glubina proniknoveniya razlomov [The penetration depth of the fault]*. Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch [in Russian].
25. Sherman, S. I. (1977). *Fizicheskie zakonomernosti razvitiya razlomov zemnoy kory [Physical laws of development of the earth's crust breaks]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
26. Batugina, I. M., & Petukhov, I. M. (1988). *Geodinamicheskoe rayonirovanie mestorozhdeniy pri proektirovanii i ekspluatatsii rudnikov [Geodynamic zoning of deposits in the design and operation of mines]*. Moscow: Nedra [in Russian].

Received 19.09.2016

© A. N. Solovitsky, 2017