

УДК 551.2/.3(571.17)

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-45-55

О РАЗВИТИИ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПОСТРОЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР КУЗБАССА

Анатолий Иванович Каленицкий

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Александр Николаевич Соловицкий

Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, кандидат технических наук, доцент кафедры геологии и географии, тел. (384)258-01-66, e-mail: san.mdig@mail.ru

Рассмотрены результаты повторных геодезических наблюдений на геодинимических полигонах (ГДП) на территории Кузбасса, установлена общность проведенных исследований и сделан вывод о том, что несмотря на определенные успехи, этот метод не получил развития и не стал доминирующим на горных предприятиях Кузбасса. Отмечено основное противоречие развития этого метода: с одной стороны – значительное повышение точности, оперативности и автоматизации измерений, с другой – неразвитость теории и отсутствие адекватных моделей, учитывающих структуру и иерархию строения земной коры. В традиционных технологиях используются плоские модели земной коры, не обеспечивающие такой учет. Поэтому целью исследований является развитие многоуровневых геодезических построений на ГДП при освоении недр Кузбасса. Для реализации поставленной цели сформулирована задача, включающая совершенствование теории пространственных многоуровневых построений на ГДП, учитывающая как структуру, так и иерархию напряженно-деформированного состояния земной коры Кузбасса. Практическое использование этой теории обеспечивает создание ГДП нового типа, обеспечивающего расширение информации о развитии геодинимических и техногенных процессов при освоении недр Кузбасса.

Ключевые слова: блок земной коры, ранг, напряженное состояние, иерархия, кинематика, геодинимический полигон, модели деформаций, геодинимический процесс.

Введение

Повторные геодезические наблюдения на ГДП – широко используемый метод в районах освоения недр. Востребован он и в Кузбассе. Востребованность подтверждается обширным списком организаций и вузов, участвующих в реализации исследований: производственное объединение «Инжгеодезия», Кузбасский государственный университет имени Т. Ф. Горбачева, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Прокопьевский филиал ВНИМИ, Кемеровское представительство ВНИМИ, ООО «Восточный научно-исследовательский горнорудный институт», Институт угля и углехимии СО РАН, Сибирский государственный университет геосистем и технологий и др. [1–15]. Кроме

этого следует отметить, что общностью большинства проводимых исследований является:

- однопорядковые геодезические построения на ГДП;
- использование пунктов опорных геодезических сетей разных классов для проведения повторных наблюдений;
- регистрация повторных наблюдений на пунктах опорных геодезических сетей;
- основная ячейка построений ГДП, используемая для интерпретации повторных наблюдений – плоский треугольник;
- отсутствие единого аппарата математической обработки результатов повторных наблюдений и их интерпретации.

Однако, несмотря на определенные успехи, метод не получил развития и не стал доминирующим на горных предприятиях Кузбасса [1–18]. По мнению авторов, его несовершенства связаны с тем, что:

- не развита его теория;
- не разработаны модели аппроксимации блочного массива горных пород;
- не обоснованы единые показатели, применяемые как в геодезии, так и в геодинамике, геомеханике и горном деле.

Указанные несовершенства обуславливают основное противоречие развития геодезической науки в этой сфере: с одной стороны – значительное повышение точности, оперативности и автоматизации измерений, с другой – неразвитость теории и отсутствие адекватных моделей. Рассмотрим эти несовершенства подробнее. По мнению авторов, в существующей теории о многоуровневых геодезических построениях ГДП отсутствуют фундаментальные постулаты геодинамики о блоковом строении земной коры и ее кинематике, которые необходимо отразить [14–20]. На начальных этапах развития геодинамики при характеристике кинематики блоков земной коры считалось, что каждый из них должен иметь хотя бы один мобильный пункт, изменения координат которого служили бы характеристиками динамики указанного блока. По мнению авторов, точечная аппроксимация структур земной коры характерна для ранних стадий развития прикладных геодинамических исследований и обладает низкой представительностью.

Методы и материалы

В отличие от традиционной теории, для создания многоуровневых геодезических построений ГДП авторами предлагается новая методология, основанная на пространственной модели аппроксимации блоков земной коры. Основные особенности предложений авторов сводятся к следующему. На исследуемой территории создается однопорядковая сеть геодезических построений ГДП, охватывающая блоки земной коры одного низшего ранга. При установлении их геодинамической активности сеть поэтапно развивается и включает блоки земной коры следующего, более высокого ранга. Создание указанной се-

ти, регистрация кинематики блоков земной коры, математическая обработка и интерпретация результатов повторных наблюдений опубликованы авторами в открытой печати [19–24]. Менее изучен учет иерархии строения земной коры в районе месторождения. Остановимся на этом подробнее. Итак, имеем блок земной коры ранга $r(i)$. В этом блоке заложена сеть из мобильных пунктов, координаты которых $X[t_0]$, $Y[t_0]$ и $H[t_0]$ на эпоху t_0 , смещения пунктов трактуемые далее, как их изменения во времени $\Delta X_i(r_i)[t-t_0]$, $\Delta Y_i(r_i)[t-t_0]$ и $\Delta H_i(r_i)[t-t_0]$, представим в виде двух слагаемых: переменного и постоянно-го. Переменные слагаемые обусловлены соответствующим изменением напряженно-деформированного состояния блока земной коры ранга $r(i)$

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_i(r_i)[t-t_0] &= \Delta X_{nds}(r_i)[t-t_0] + \Delta X_0(r_i)[t-t_0] \\ \Delta Y_i(r_i)[t-t_0] &= \Delta Y_{nds}(r_i)[t-t_0] + \Delta Y_0(r_i)[t-t_0] \\ \Delta H_i(r_i)[t-t_0] &= \Delta H_{nds}(r_i)[t-t_0] + \Delta H_0(r_i)[t-t_0] \end{aligned} \right\} . \quad (1)$$

При этом следует отметить, что выделение влияния изменений координат, обусловленных напряженно-деформированным состоянием земной коры, было предложено профессором В. К. Панкрушиным [14], однако учет иерархии ее строения – это предложение авторов. Изменения во времени координат $\Delta X_i(r_i)[t-t_0]$, $\Delta Y_i(r_i)[t-t_0]$ и $\Delta H_i(r_i)[t-t_0]$, обусловленные соответствующим изменением напряженно-деформированного состояния блока земной коры ранга $r(i)$, равны

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_i(r_i)[t-t_0] &= X[t_0]e_{11}(r_i)[t-t_0] + Y[t_0]e_{12}(r_i)[t-t_0] + H[t_0]e_{13}(r_i)[t-t_0] \\ \Delta Y_i(r_i)[t-t_0] &= X[t_0]e_{21}(r_i)[t-t_0] + Y[t_0]e_{22}(r_i)[t-t_0] + H[t_0]e_{23}(r_i)[t-t_0] \\ \Delta H_i(r_i)[t-t_0] &= X[t_0]e_{31}(r_i)[t-t_0] + Y[t_0]e_{32}(r_i)[t-t_0] + H[t_0]e_{33}(r_i)[t-t_0] \end{aligned} \right\} , \quad (2)$$

где $e_{13}r(i)[t-t_0]$, $e_{12}r(i)[t-t_0]$, $e_{13}r(i)[t-t_0]$, $e_{21}r(i)[t-t_0]$, $e_{22}r(i)[t-t_0]$, $e_{23}r(i)[t-t_0]$, $e_{31}r(i)[t-t_0]$, $e_{32}r(i)[t-t_0]$ и $e_{33}r(i)[t-t_0]$ – изменения компонентов деформации во времени блока земной коры ранга $r(i)$ за период $[t-t_0]$.

Результаты

Для реализации учета иерархии изменением напряженно-деформированного состояния блоков земной коры разных рангов согласно (1) и (2) ав-

торами предложено в каждом из них формировать ячейку пространственной модели построений ГДП, состоящую из мобильных и стабильных пунктов. Мобильные пункты закрепляются по определенной схеме в каждом блоке земной коры, а стабильные – в условно-стабильном блоке (рис. 1).

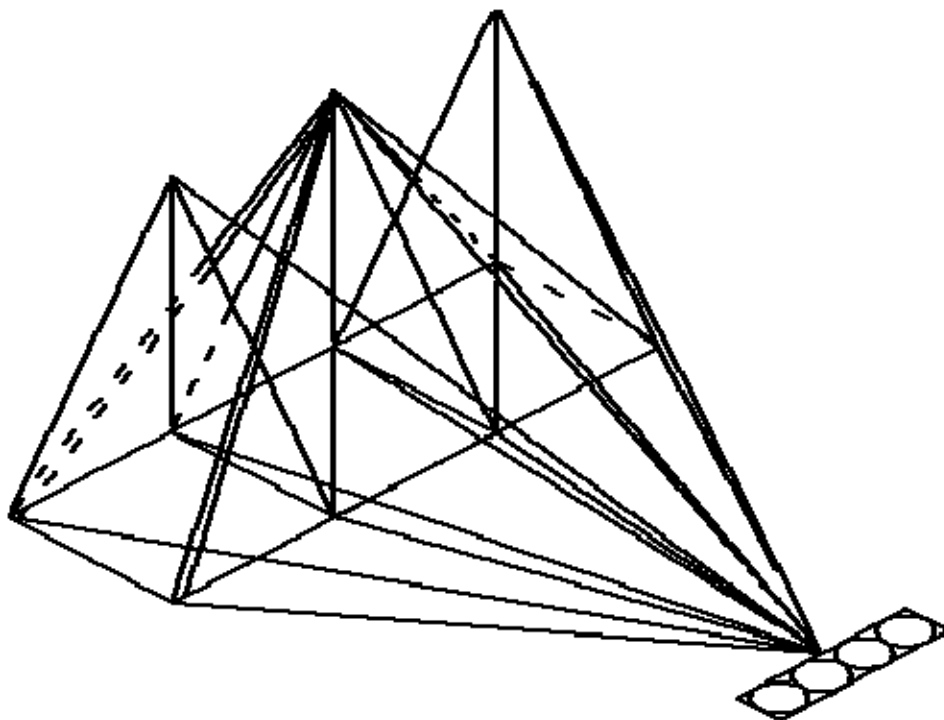


Рис. 1. Схема многоуровневых геодезических построений на ГДП

При проведении геодинимических исследований на геодинимических полигонах обычно изменения во времени приращений пунктов определяют относительно стабильного [15, 19, 25]. В этом случае, уравнения (1) и (2) имеют вид:

$$\begin{aligned} \partial \Delta X_{ci}(r_i)[t-t_0] = & X[t_0]e_{11}(r_i)[t-t_0] - X_c[t_0]e_{11}^0(r_i)[t_0] + \\ & + Y[t_0]e_{12}(r_i)[t-t_0] - Y_c[t_0]e_{12}^0(r_i)[t_0] + \\ & + H[t_0]e_{13}(r_i)[t-t_0] - H_c[t_0]e_{13}^0(r_i)[t_0]; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \partial \Delta Y_{ci}(r_\Sigma)[t-t_0] = & X[t_0]\Sigma e_{21}(r_i)[t-t_0] - X_c[t_0]e_{21}^0(r_i)[t_0] + \\ & + Y[t_0]\Sigma e_{22}(r_i)[t-t_0] - Y_c[t_0]e_{22}^0(r_i)[t_0] + \\ & + H[t_0]\Sigma e_{23}(r_i)[t-t_0] - H_c[t_0]e_{23}^0(r_i)[t_0]; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \partial \Delta H_{ci}(r_i)[t-t_0] = & X[t_0]e_{31}(r_i)[t-t_0] - X_c[t_0]e_{31}^0(r_i)[t_0] + \\ & + Y[t_0]e_{32}(r_i)[t-t_0] - Y_c[t_0]e_{32}^0(r_i)[t_0] + \\ & + H[t_0]e_{33}(r_i)[t-t_0] - H_c[t_0]e_{33}^0(r_i)[t_0]; \end{aligned} \quad (5)$$

где $e_{11}r^0(i)[t-t_0]$, $e_{12}r^0(i)[t-t_0]$, $e_{13}r^0(i)[t-t_0]$, $e_{21}r^0(i)[t-t_0]$, $e_{22}r^0(i)[t-t_0]$, $e_{23}r^0(i)[t-t_0]$, $e_{31}r^0(i)[t-t_0]$, $e_{32}r^0(i)[t-t_0]$ и $e_{33}r^0(i)[t-t_0]$ – изменения компонентов деформации во времени стабильного блока земной коры ранга $r(i)$ за период $[t-t_0]$; $X_c[t_0]$, $Y_c[t_0]$, $H_c[t_0]$ – координаты стабильного репера на эпоху t_0 .

Обсуждение

Предлагаемое авторами выделение влияния изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры разных рангов на изменение во времени абсциссы, ординаты и отметки пункта не только обеспечивает установление их закономерностей, но и является дальнейшим развитием работ академика М. А. Садовского [26]. Доля влияния изменения напряженно-деформированного состояния для четырех блоков земной коры III–VI рангов, расположенных в районе города Белово, на изменение во времени координат пункта определена авторами с помощью разработанной ими программы «ВМ» [17, 26]. В приведенных результатах исследований (рис. 2) изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры разных рангов подтверждают закономерности деформационных процессов от иерархии ее строения, установленные академиком М. А. Садовским и В. Ф. Писаренко: в блоках III и IV рангов они значительно меньше, чем в V–VI (то есть обратно пропорционально рангу). Эти результаты определяют выбор стабильных пунктов при создании многоуровневых геодезических построений на ГДП [14, 15, 19, 22–24]. Их заложение определяется, по мнению авторов, прежде всего, отсутствием геодинамической активности для соответствующих блоков земной коры всех рангов. Такое условие не отражено в традиционных технологиях создания ГДП.

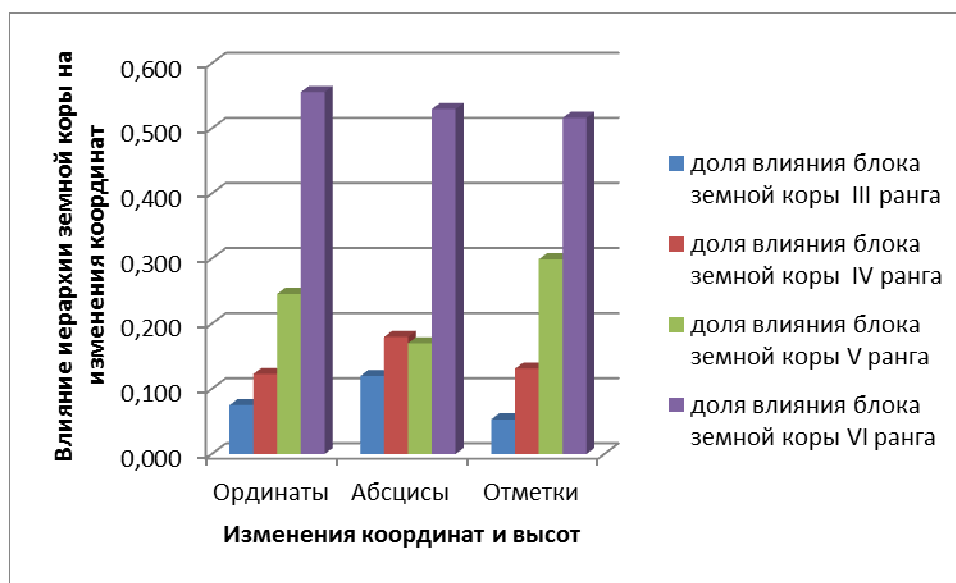


Рис. 2. Доля влияния изменения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры разных рангов на изменение во времени абсциссы, ординаты и отметки пункта

Заключение

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы.

1. Установлено, что исследование иерархии влияния развития и пространственно-временного перераспределения напряжений земной коры на изменения координат мобильных пунктов ГДП в районах разработки угольных месторождений Кузбасса является актуальной и многоаспектной проблемой. Достоверность изменений координат мобильных пунктов ГДП определяется как выбором стабильного пункта, так и учетом закономерностей смещений пунктов, принадлежащих блокам земной коры разных рангов.

2. Разработана теория многоуровневых геодезических построений ГДП, которая отражает учет иерархии напряженно-деформированного состояния земной коры Кузбасса, что обеспечивает не только расширение использования геодезической информации в геомеханике и горном деле, но и кардинально отличается от традиционных технологий создания таких построений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батугин А. С. Совершенствование методов оценки геодинамического состояния блочного массива горных пород в целях повышения экологической безопасности освоения недр и земной поверхности : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М. : Москов. гос. горн. ун-т, 2008. – 39 с.

2. Бузук Р. В., Ардеев В. Н. Совершенствование методов регистрации проявлений активных геодинамических процессов / под ред. В. В. Иванова. – Кемерово : Куз О РЭА; ГУ Кузбасс. гос. техн. ун-т, 2003. – 108 с.

3. Карташов М. П., Есиков Н. П. Изучение деформаций земной поверхности на Кузбасском геодинамическом полигоне // *Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах.* – М. : Наука, 1983. – С. 102–106.
4. Кнуренко Л. М. Изучение современных вертикальных движений Кузбасса и некоторых закономерностей их проявления в целях регионального прогноза выбросоопасности : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово : Кузбасс. политехн. ин-т., 1975. – 19 с.
5. Дорогова И. Е. Изучение движений и деформаций земной коры на геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения // *Вестник СГГА.* – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 7–11.
6. Геодинамическое районирование Южного Кузбасса / Т. И. Лазаревич, В. П. Мазинкин, И. А. Малый, В. А. Ковалев, А. Н. Поляков, А. С. Харкевич, А. Н. Шабаров. – Кемерово : Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр ВНИМИ. Кемеровское Представительство, 2006. – 181 с.
7. Использование результатов геодинамического мониторинга для оценки напряженности шахтных полей / А. В. Леонтьев, Т. В. Лобанова, Г. Л. Линдин, С. А. Лобанов // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.).* – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 220–225.
8. Лобанова Т. В., Новикова Е. В. Спутниковые наблюдения за развитием геодинамических процессов в районах тектонических нарушений Таштагольского месторождения // *ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.).* – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 5. – С. 278–282.
9. Геодинамическая безопасность разработки железорудных месторождений Сибири / В. А. Квочин, В. В. Билибин, Т. П. Васильченков, Т. В. Лобанова и др. // *Горный журнал.* – 2005. – № 11. – С. 44–53.
10. Опарин В. Н. О некоторых методологических аспектах разработки информационной геодинамической модели строения Кузнецкого угольного бассейна для целей прогнозирования катастрофических природных и техногенных явлений // *Региональные проблемы устойчивого развития природноресурсных регионов и пути их решения : Труды Всероссийской научно-практической конференции.* – Кемерово, 2003. – С. 42–51.
11. Опарин В. Н., Потапов В. П., Танайно А. С. К проблеме информационного обеспечения мониторинга геодинамических процессов в условиях интенсивного недропользования в Кузнецком бассейне // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.* – 2006. – № 5. – С. 40–66.
12. Колмогоров В. Г. К вопросу возможности изучения деформационного состояния земной поверхности по результатам повторного высокоточного нивелирования // *Вестник СГГА.* – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 9–14.
13. Колмогоров В. Г., Калюжин В. А. Приповерхностные деформации в районе Таштагольского геодинамического полигона // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.* – 2015. – № 5/С. – С. 15–19.
14. Идентификация движений и напряженно-деформированного состояния самоорганизующихся геодинамических систем по комплексным геодезическим и геофизическим наблюдениям : монография / В. А. Середович, В. К. Панкрушин, Ю. И. Кузнецов, Б. Т. Мазуров, В. Ф. Ловягин; под общ. ред. В. К. Панкрушина. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 356 с.
15. Мазуров Б. Т. Моделирования геодезических и гравитационных параметров при изучении геодинамических процессов. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 207 с.
16. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. – М. : Недра, 1988. – 166 с.
17. Геодинамическое районирование недр. – Л. : ВНИМИ, 1990. – 129 с.

18. Ежирова, А. У. Маркшейдерско-геодезические наблюдения за деформациями земной поверхности при освоении нефтегазовых месторождений // Вестник АИНГ. – 2016. – № 1(37). – С. 14–18.
19. Соловицкий А. Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород / под ред. П. В. Егорова. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. – 260 с.
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. 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. Соловицкий А. Н. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений: геодезические построения // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 81–89.
22. Соловицкий А. Н. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610007. (ВМ) Определение интегральным методом напряженного состояния блочного массива горных пород, обусловленного взаимодействием блоковых структур. – М. : Роспатент, 2004. – 1 с.
23. Solovitskiy A. Dynamic models of deformation of crustal blocks in the area of development of coal deposits - the basis of the information security of their development // 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety. – September, 2016. – <http://www.atlantis-press.com/php/pub.php?publication=coal-16>.
24. Perhin V., Solovitskiy A. Nev Opportunities to Expand Information on Intens – Strained State of the Earth's Crust in the Areas of Development Mineral Resources During Monitoring Creation // The Second International Innovative Mining Symposium. – November, 2017. – <http://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101009>.
25. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах : метод. руководство. – М. : ЦНИИГАиК, 1985. – 113 с.
26. Садовский М. А., Писаренко В. Ф. Дискретные иерархические модели геофизической среды // Комплексные исследования по физике Земли. – М. : Наука, 1989. – С. 68–87.

Получено 04.04.2019

© А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий, 2019

ABOUT THE DEVELOPMENT OF MULTILEVEL STRUCTURED ON THE GEODYNAMIC POLYGON IN EXPLOITATION OF SUBSURFACE RESOURCES IN KUZBASS

Anatolij I. Kalenizkiy

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Astronomy and Gravimetry, phone: (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Aleksandr N. Solowitskiy

Kemerovo State University, 6, Krasnaya St., Kemerovo, 650000, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geology and Geography, phone: (384)258-01-66, e-mail: san.mdig@mail.ru

The article considers the results of repeated geodetic observations on geodynamic polygons (GDP) on the territory of Kuzbass and states the commonness of performed research and draws the conclusion that in spite of certain success this method did not become wide-spread and dominating

on mining enterprises of Kuzbass. It is noted that the basic contradiction of the method development: from one side – significant increase of measurement accuracy, operation and automation, from the other side – lack of development and absence of proper models, taking into account the structure and hierarchy of the Earth's crust. In traditional technologies flat models of the Earth's crust are used. They do not provide such an account. That's why the objective of the research is the development of multilevel geodetic compositions on GDP in exploitation of the Kuzbass subsurface resources. For realization of stated objective the task is formulated, which includes the improvement of the theory of spatial multilevel geodetic compositions on GDP and takes into account both the structure and stress-strain condition of Kuzbass crust. Practical use of this theory provides the creation of a new type GDP, ensuring broadening information about the development of geodynamic and technogenic processes in exploitation of Kuzbass subsurface resources.

Key words: earth's crust block, rate, stressed condition, hierarchy, kinematics, geodynamic polygon, deformation models, geodynamic process.

REFERENCES

1. Batugin, A. S. (2008). Improving the methods of assessing the geodynamic state of a block of rock mass in order to improve the environmental safety of the development of the subsoil and the earth's surface. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Moscow: Moscow State Mining University Publ., 39 p [in Russian].
2. Buzuk, R. V., & Ardeev, V. N. (2003). *Sovershenstvovanie metodov registratsii proyavlenij aktivnykh geodinamicheskikh processov [Improvement of methods for recording manifestations of active geodynamic processes]*. V. V. Ivanov (Ed.). Kemerovo: Kuz O REA; Kuzbass State Technical University Publ., 108 p. [in Russian].
3. Kartashov, M. P., & Esikov N. P. (1983). Study of the deformations of the earth's surface at the Kuzbass geodynamic site. In *Sovremennyye dvizheniya i deformatsii zemnoj kory na geodinamicheskikh poligonah [Modern movements and deformations of the earth's crust at the geodynamic sites]* (pp. 102–106). Moscow: Science Publ. [in Russian].
4. Knurenko, L. M. (1975). Study of modern vertical movements of Kuzbass and some patterns of their manifestation for the purposes of regional forecast of outburst hazard. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kemerovo: Kuzbass Polytechnic Institute, 19 p. [in Russian].
5. Dorogova, I. Ye. (2010). Study of the movements and deformations of the earth's crust at the geodynamic site of the Tashtagol iron ore deposit. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 2(13), 7–11 [in Russian].
6. Lazarevich, T. I., Mazikin, V. P., Maly, I. A., Kovalev, V. A., Polyakov, A. N. Kharkevich, A. S., & Shabarov A. N. (2006). *Geodinamicheskoe rajonirovanie YUzhnogo Kuzbassa [Geodynamic zoning of the Southern Kuzbass]*. Kemerovo: Scientific Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying – Interdisciplinary Scientific Center VNIMI. Kemerovo Representative Office, 181 p. [in Russian].
7. Leont'ev, A. V., Lobanova, T. V., Lindin, G. L., & Lobanov, S. A. (2017). Using the results of geodynamic monitoring to estimate the strength of mine fields. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2017: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh. EHkonomika. Geoehkologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2017: International Scientific Conference: Vol. 2. Subsoil Use. Mining. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economy. Geoecology]* (pp. 220–225). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
8. Lobanova, T. V., & Novikova, E. V. (2008). Satellite observations of the development of geodynamic processes in areas of tectonic disturbances of the Tashtagol field. In *Sbornik materialov*

GEO-Sibir'-2008: T. 5, [Proceedings of GEO-Siberia-2018: Vol. 5, (pp. 278–282). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

9. Kvochin, V. A., Bilibin, V. V., Vasilchenkov, T. P., & Lobanova, T. V. (2005). Geodynamic safety of the development of iron ore deposits in Siberia. *Gornyj zhurnal [Mining Journal]*, 11, 44–53 [in Russian].

10. Oparin, V. N. (2003). On some methodological aspects of developing an information geodynamic model of the structure of the Kuznetsk coal basin for predicting catastrophic natural and man-made phenomena. In *Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii: Regional'nye problemy ustojchivogo razvitiya prirodnoreturnykh regionov i puti ih resheniya [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference: Regional Problems of Sustainable Development of Natural Resource Regions and Ways to Solve them]* (pp. 42–51). Kemerovo [in Russian].

11. Oparin, V. N., Potapov, V. P., & Tanaino, A. S. (2006). To the problem of information support of monitoring geodynamic processes in conditions of intensive subsoil use in the Kuznetsk basin. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Physical and Technical Problems of Development Mineral]*, 5, 40–66 [in Russian].

12. Kolmogorov, V. G. (2012). To the question of the possibility of studying the deformation state of the earth's surface according to the results of repeated high-precision leveling. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 1(17), 9–14 [in Russian].

13. Kolmogorov, V. G., & Kaluyshin V. A. (2015). Surface deformations in the area of the Tashtagol geodynamic test site. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aehrofotos"emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 5/C, 15–19 [in Russian].

14. Seredovich, V. A., Pankrushin, V. K., Kuznetsov, Yu. I., Mazurov, B. T., & Lovyagin, V. F. (2004). *Identifikaciya dvizhenij i napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya samoorganizuyushchihsysya geodinamicheskikh sistem po kompleksnym geodezicheskim i geofizicheskim nablyudeniyam [Identification of movements and stress-strain state of self-organizing geodynamic systems according to complex geodetic and geophysical observations]*. V. K. Pankrushin (Ed.). Novosibirsk: SSGA Publ., 356 p. [in Russian].

15. Mazurov, B. T. (2014). *Modelirovaniya geodezicheskikh i gravitacionnykh parametrov pri izuchenii geodinamicheskikh processov [Modeling of geodesic and gravitational parameters in the study of geodynamic processes]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 207 p. [in Russian].

16. Batugina, I. M., & Petukhov I. M. (1988). *Geodinamicheskoe rajonirovanie mestorozhdenij pri proektirovanii i ehkspluatacii rudnikov [Geodynamic zoning of deposits in the design and operation of mines]*. Moscow: Nedra Publ., 166 p. [in Russian].

17. *Geodynamic zoning of subsoil [Geodinamicheskoe rajonirovanie nedr]*. (1990). Leningrad: VNIMI Publ., 129 p. [in Russian].

18. Ezhirova, A. U. (2016). Surveying and geodetic observations of the deformations of the earth's surface during the development of oil and gas fields. *Vestnik AING [Bulletin of AING]*, 1(37), 14–18 [in Russian].

19. Solovitskiy, A. N. (2003). *Integral'nyj metod kontrolya napryazhennogo sostoyaniya blochnogo massiva gornyh porod [Integral method of monitoring the state of stress of a block of rock mass]*. P. V. Egorov (Ed.). Kemerovo: Kuzbass State Technical University Publ., 260 p. [in Russian].

20. Kalenitskiy, A.I., Solovitskiy A. N. (2012). Features of the study of changes in the time of deformations of the blocks of the earth's crust during the development of Kuzbass fields. 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: T. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Surveying]* (pp. 58–61). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

21. Solovitskiy, A. N. (2017). Geodesic monitoring of the stress-strain state of the earth's crust in the areas of development of coal deposits: geodetic construction. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(1), 81–89 [in Russian].
22. Solovitskiy, A. N. (2004). Certificate of official registration of the computer program No. 2004610007. (VM) Determination of the block massif of rocks by the integral method of the stressed state due to the interaction of block structures. Moscow, Rospatent Publ. [in Russian].
23. Solovitskiy, A. (2016). Dynamic models of deformation of crustal blocks in the area of development of coal deposits - the basis of the information security of their development. In *8th Russian-Chinese Symposium. Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety*. Retrieved from <http://www.atlantis-press.com/php/pub.php?publication=coal-16>.
24. Pershin, V., & Solovitskiy, A. (2017). New Opportunities to Expand Information on Intens – Strained State of the Earth's Crust in the Areas of Development Mineral Resources During Monitoring Creation. In *The Second International Innovative Mining Symposium*. Retrieved from <http://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101009>.
25. *Geodetic methods for studying the deformations of the earth's crust at geodynamic polygons [Geodezicheskie metody izucheniya deformacij zemnoj kory na geodinamicheskikh poligonah]*. (1985). Moscow: TsNII GAIK Publ., 113 p. [in Russian].
26. Sadovsky, M. A., & Pisarenko V. F. (1989) Discrete hierarchical models of the geophysical environment. In *Complex studies on the physics of the Earth [Kompleksnyye issledovaniya po fizike Zemli]* (pp. 68–87). Moscow: Nauka Publ. [in Russian].

Received 04.04.2019

© A. I. Kalenizkiy, A. N. Solovitskiy, 2019