

УДК 551.24:528(571.17)

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-4-20-33

## О МЕТОДОЛОГИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР КУЗБАССА

*Анатолий Иванович Каленицкий*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор-консультант кафедры космической и физической геодезии, 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 геодезические системы мониторинга в различных сферах народного хозяйства, установлена их востребованность. Отмечено, что при освоении недр Кузбасса доминирующим является геотехнический (маркшейдерский) мониторинг. Для проведения комплексного контроля состояния недр предложено развивать геодезический мониторинг деформаций земной коры. Установлено 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 методологии создания геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры при освоении недр Кузбасса. Для реализации поставленной цели сформулирована задача, включающая совершенствование теории указанного мониторинга на основе использования фундаментальных гипотез геодинамики. Практическое использование данной теории обеспечивает создание трех основных составляющих геодезического мониторинга для получения информации о развитии геодинамических и техногенных процессов при освоении недр Кузбасса.

**Ключевые слова:** блок земной коры, напряженное состояние, наблюдательная станция, геодезический мониторинг, геодинамический полигон, гипотеза, методология, геодинамический процесс.

### *Введение*

В настоящее время геодезические системы мониторинга находят широкое применение в различных сферах народного хозяйства. Особенно они успешны и востребованы при строительстве атомных и гидроэлектростанций, добыче углеводородов и строительстве инженерных объектов [1–8]. Также они широко используются в Кузбассе при освоении угольных и рудных месторождений. Востребованность подтверждается обширным списком организаций и вузов, участвующих в реализации исследований на указанной территории: 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. [9–22]. Однако, следует отметить, что в реальном недропользовании (на большинстве действующих шахт и разрезов) доминирующий вес имеет геотехнический (маркшейдерский) мониторинг, базирующийся на создании наблюдательных станций, которые характеризуются:

- профилными линиями наблюдения;
- регистрацией движений земной поверхности;
- определением компонентов деформаций поверхности земной коры для плоской модели;
- наличием единого простейшего аппарата математической обработки результатов повторных наблюдений и их интерпретации [23, 24].

Однако, несмотря на определенные успехи, такой мониторинг обеспечивает учет и контроль состояния горного массива пород под влиянием только геомеханических процессов, и, исходя из принципа минимизации затрат, изменениям указанного массива при воздействии геодинамических процессов внимания не уделяется [1–24]. Этот неучет, по мнению авторов, сдерживает развитие геодезической науки, так как амплитуды движений земной поверхности под влиянием геомеханических процессов достаточно велики (их скорости достигают нескольких сантиметров в месяц), и их регистрация легко достижима и не требует применения высокоточных измерений и развития новых технологий.

Указанные несовершенства обуславливают основное противоречие развития геодезической науки при освоении недр Кузбасса, которая характеризуется, с одной стороны, значительным повышением точности, оперативности и автоматизации измерений, с другой – неразвитостью теории мониторинга деформаций земной коры и отсутствием адекватных моделей определения напряженно-деформированного состояния блочного массива горных пород. Рассмотрим эти несовершенства подробнее. По мнению авторов, в существующей традиционной теории геотехнического (маркшейдерского) мониторинга отсутствуют как фундаментальные постулаты геодинамики о блоковом строении земной коры и ее кинематике, которые необходимо отразить, так адекватные модели геодезических построений [14–23]. По мнению авторов, на горных предприятиях Кузбасса необходимо развивать комплексный мониторинг, включающий контроль напряженно-деформированного состояния как геомеханических процессов, так и геодинамических процессов, который возможен в настоящее время при современном уровне развития геодезической науки, техники и технологий.

### ***Методы и материалы***

Известно, что создание традиционных систем мониторинга имело ведомственный характер. В горной промышленности применялся геотехнический (маркшейдерский), а системе Роскартографии – геодезический мониторинг [1, 3, 6]. Несмотря на различные подходы исследований, их объектом являлись кинематика

и деформации поверхности земной коры, обусловленные ведением горных работ, а вертикальные и горизонтальные движения чаще всего изучались отдельно. Методическая основа традиционной технологии построений техногенного геодинамического полигона (ГДП) в районах освоения месторождений в системе Роскартографии основывалась на гипотезе о доминировании вертикальных движений и базировалась на принципе минимума затрат  $C$ , т. е. целевая функция была однозначной и имела следующий вид [7]:

$$C = \sum a_i x_i = \min, \quad (1)$$

где  $a_i$  – коэффициент;  $x_i$  – стоимость  $i$ -го технологического процесса.

Реализация этой гипотезы обычно включала проложение линий нивелирования II класса вкрест простирания месторождения. Обычно математически традиционная модель вертикальных движений земной поверхности имела простой вид:

$$\left. \begin{array}{l} v_i = 0 \\ v_i = 0 \\ \omega_i = v_{eo}t \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Для наблюдательных станций:

$$\left. \begin{array}{l} v_i = 0 \\ v_i = v_{eo1}t \\ \omega_i = v_{eo}t \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $v_i$  и  $v_i$  – смещения пунктов сети вдоль соответствующих осей координат ( $x, y$ );  $\omega_i$  – смещения пунктов сети вдоль оси  $z$ ;  $v_{eo1}, v_{eo}$  – постоянные скорости движения мобильного пункта в одном направлении;  $t$  – период времени.

Для изучения горизонтальных движений рекомендовалось построение триангуляции (или позднее линейно-угловой сети) [3]. Стабильные пункты закладывались вне зоны подработки, а мобильные – через 2 км. Получаемые по результатам повторных наблюдений на пунктах таких ГДП кинематические характеристики движений земной поверхности имели лишь формальные статистические зависимости с проявлениями геодинамических явлений (ГДЯ), а следовательно, малую вероятность предсказаний. Для перехода от кинематических характеристик движений земной поверхности к изучению геодинамики земной коры в районах освоения месторождений нужна иная методологическая база, в первую очередь учитывающая действие напряжений в земной коре, имеющих иерархическую структуру.

Изучение закономерностей распределения полей деформаций, обусловленных формированием или взаимодействием блоков земной коры при совместном воздействии природной и техногенной геодинамики, представляет инте-

рес для ряда наук о Земле. Ранее определение величин главных напряжений массива горных пород и соответствующих им главных направлений являлось основной задачей геомеханики при освоении недр. Количественные характеристики напряжений определяют выбор направления, по которому ориентируют капитальные выработки строящихся шахт. Таким образом, на стадии проектирования горного предприятия должен решаться вопрос о том, чтобы возникающие при проходке зон концентрации напряжений не приводили к опасным перегрузкам крепи. В настоящее время оценить природу и взаимодействие блоков земной коры под воздействием геодинамических процессов позволяют геодезические методы. При этом возможно определение не только изменения количественных характеристик напряжений, но и поворота осей, в направлении которых они действуют.

Таким образом, обобщая вышеизложенное, предлагается принять в качестве методологической основы геодезического мониторинга деформаций блоков земной коры фундаментальную гипотезу о действии и релаксации напряжений. Реализация же указанной гипотезы позволяет расширить область применения современных геодезических технологий, что обеспечивает не только получение новых знаний, но и имеет прикладную направленность, предполагающую новый подход к решению задач современного геомеханического обеспечения геотехнологии освоения месторождений. При этом качественно новой особенностью реализации этой гипотезы может быть непосредственная интерпретация напряжений (деформаций) отдельного блока земной коры по результатам повторных высокоточных геодезических наблюдений на пунктах ГДП вместо формальной оценки их смещений, как было ранее. Таким образом, предлагается заменить традиционную модель кинематики поверхности земной коры (2), (3) новой – моделью деформаций блоков земной коры.

Методологическая основа теории деформаций блоков земной коры не может быть ограничена одной гипотезой о действии и релаксации напряжений. Прежде всего, учтем, что согласно [24] период релаксации напряжений  $\tau$  для земной коры в целом можно оценить отношением

$$\tau = \eta / \mu, \quad (4)$$

где  $\eta$  – эффективная вязкость;  $\mu$  – модуль сдвига.

При  $\eta = 10^{24}$  Па·с и  $\mu = 3 \cdot 10^5$  МПа период релаксации напряжений равен 1 млн лет. Следовательно, необходимо изучить характер геодинамических процессов, происходивших в районе разработки месторождения не менее одного миллиона лет назад [25], т. е. за период новейших движений. Поэтому актуальной становится гипотеза о преемственности новейших движений в современный период. Для ее реализации необходимо иметь необходимую информацию. Взаимодействие блоков земной коры происходит по разломам, поэтому в традиционной технологии его регистрация реализована с помощью построений ГДП (поперечников), ориентированных перпендикулярно этому направлению.

Кроме того, в настоящее время для оценки указанного взаимодействия широко применяют методы дистанционного зондирования, которые в перспективе успешно будут решать задачи геотехнического (маркшейдерского) мониторинга. Однако моделей для определения напряженно-деформированного состояния блоков земной коры в районах освоения недр при применении этих неконтактных методов пока не разработано [26, 27].

При оценке деформаций блоков земной коры автором предлагается системный подход [28–31], который комплексно регистрирует их взаимодействие, включая начальный этап – его формирование. Таким образом, в качестве методологической основы теории и методов геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры (ГМНДСЗК) предлагается фундаментальная гипотеза о пренебрегаемо малых скоростях деформаций земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ. Оценка медленных скоростей деформаций земной коры, не приводящих к проявлению геодинамических явлений, выполнена на основе результатов исследований Института физики Земли. Согласно результатам исследований В. А. Магницкого [32, 33], медленные скорости деформаций земной коры  $V_E$  менее ( $1 \cdot 10^{-6}$  в год) не могут приводить к образованию разломов и других ГДЯ. Реализация этой гипотезы обосновывает качественные изменения технологии построения ГДП, которые учитывают не только взаимодействие блоков земной коры, но и их строение, а также иерархию. Поэтому требуется учет конфигурации блоков земной коры, границами которых являются разломы. Еще одной гипотезой, составляющей методологическую основу теории и методов ГМНДСЗК, является активизация новейших движений в современный период под влиянием антропогенных процессов больших масштабов, связанных с освоением месторождений полезных ископаемых. Реализация этой гипотезы обеспечивает возможность поэтапности создания указанного мониторинга.

### ***Результаты***

Наряду с существующими наблюдательными станциями на территории горного предприятия, реализующими геотехнический (маркшейдерский) мониторинг, и традиционными технологиями техногенных ГДП Роскартографии, авторами предлагается создание ГМНДСЗК – комплексной триединой системы его контроля, предусматривающей регистрацию кинематики блоков земной коры с учетом их строения и иерархии, определение их динамических параметров и оценку степени возможного риска проявления геодинамического явления. Основной особенностью ГМНДСЗК является решение не только прикладных, но и фундаментальных задач геодинамики месторождений, так как его функциональным назначением является обеспечение аналитических зависимостей между изменениями координат мобильных пунктов пространственных структурно ориентированных построений ГДП, аппроксимирующих блок земной коры, и количественными параметрами проявлений геодинамических явлений в нем [26, 28–31]. Задачи, решаемые ГМНДСЗК, соответствуют трем основным

составляющим: регистрация, оценка и прогноз. Первая составляющая включает следующие задачи:

- поэтапное создание пространственных структурно ориентированных построений (ГДП) для каждого блока земной коры с учетом иерархии ее строения на исследуемой территории;
- закрепление стабильных пунктов ГДП в условно-стабильном блоке;
- регистрация кинематики исследуемых блоков земной коры.

Сначала 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.

Задачей второй составляющей ГМНДСЗК является определение динамических параметров блоков земной коры. Авторами установлено, что наиболее приемлемым вариантом динамических параметров блока земной коры являются изменения во времени его деформаций, которые обеспечивают определение напряжений и потенциальной энергии, т. е. их полного спектра. Указанные параметры предложены и обоснованы авторами для преодоления неоднозначности кинематических характеристик блоков земной коры. Динамические параметры блока земной коры имеют адресную привязку, отнесенную к центру его тяжести, также отражают влияние иерархии строения земной коры. Кроме того, динамические параметры блоков земной коры разных рангов позволяют, по мнению авторов, переходить к решению фундаментальных задач геодинамики, таких как перераспределение деформаций (напряжений) и потенциальной энергии деформирования в структурах земной коры в районах освоения месторождений, что является коренным отличием от традиционных технологий. Задачи третьей составляющей ГМНДСЗК нацелены не на прогноз кинематики земной коры, как принято в традиционных технологиях, а на развитие деформаций блоков земной коры и управление созданием ГДП, основанные на методах функционального зонирования. Авторами предложена классификация степени опасности развития напряженно-деформированного состояния (НДС) блоков земной коры: выделены четыре группы (класса), предварительный прогноз может быть выполнен заранее, до освоения месторождения. Другой метод функционального зонирования обеспечивает оценку возможного риска проявления ГДЯ. Разработанный авторами метод управления развитием ГДП на основе функционального зонирования блоков земной коры учитывает уровень геодинамической безопасности, что является кардинальным отличием от традиционных технологий.

### ***Обсуждение***

Реализация гипотезы о преемственности новейших движений в современный период определяет морфоструктурный анализ рельефа как основной метод выделения блоков земной коры. Геодинамическое районирование земной коры многоаспектно, но в этом конкретном случае доминирующим является указанный метод, отражающий как историю формирования блоков земной коры, так

и релаксацию напряжений. Методология применения морфоструктурного анализа разработана рядом ученых: И. П. Герасимовым, В. М. Дэвисом, Ю. А. Мещеряковым, Н. И. Николаевым, П. Н. Николаевым, А. В. Орловой, В. Пенком, Т. Ю. Пиотровской, Э. М. Цириховой и многими другими [26, 34, 35]. На территории Кузбасса, а также ряда отечественных и зарубежных горных предприятий геодинамическое районирование с применением морфоструктурного анализа было выполнено А. С. Батугиным, И. М. Батугиной и И. М. Петуховым [9, 34, 35]. Для его проведения широко использовались топографические и геофизические материалы, а также аэрофото- и космоснимки. Метод, разработанный указанными авторами, обеспечивал камеральную оценку удароопасности месторождения [35]. Доминирующим признаком выделения блоков земной коры на рисунке являются спрямленные русла рек, т. е. гидрография, обусловленная формированием современного рельефа. На рисунке приведен фрагмент выделения блоков земной коры III и IV рангов на территории Кузбасса, а в таблице – основные характеристики разломов, которые ограничивают их.



Фрагмент выделения блоков земной коры III и IV рангов на территории Кузбасса:

1, 2, 3, 4, 5 – узлы пересечения разломов III рангов; ---- разломы, ограничивающие блок земной коры III ранга; --- разломы, ограничивающие блоки земной коры IV ранга

Основные характеристики разломов,  
разграничивающие блоки земной коры

№ п/п	Разлом	Протяженность участка разлома, км	Признак выделения разлома
1	1-2	80	По руслу реки Томи
2	2-3	15	По спрямленному руслу реки Уньга
3	3-4	30	По спрямленному руслу реки Южная Уньга
4	4-5	50	По спрямленным руслам рек Южная Уньга и Каменка
5	5-1	70	По спрямленным руслам рек Малая Топки и Большой Корчуган
6	6-7	25	По спрямленным руслам рек Северная Уньга и Мазуровка
7	7-5	20	По спрямленному руслу реки Искитим
8	1-8	40	По спрямленным руслам рек Таловка и Прямая
9	7-8	7	По спрямленному руслу реки Северная Уньга
10	8-4	10	По спрямленному руслу реки Северная Уньга

Блок земной коры III ранга, имеющий номер 42:2019:03:03: 000000000305, обозначенный на рисунке границами красного цвета, подразделяется на четыре блока IV ранга: 42:2019:03:04:305300000305, 42:2019:03: 04:305300000281, 42:2019:03: 04: 305300000258 и 42:2019:03:04:305300000289, границы которых выделены синим цветом. Выделенные таким образом блоки земной коры определяют геометрические особенности геодезических построений ГДП. Размеры и конфигурация блоков земной коры задают как форму геодезических построений, так и их геометрические параметры. Так, на рисунке заложение мобильных пунктов ГДП в узлах пересечения разломов (1, 2, 3, 4, 5) и в наивысшей отметке блока земной коры III ранга (305 м) образует сложную пространственную ячейку сети, аналогом которой на плоскости является классическая типовая фигура – центральная система.

### Заключение

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы.

1. Установлено, что основным отличием ГМНДСЗК от геотехнического мониторинга и традиционных технологий техногенных ГДП является не только объект исследования и функциональное назначение, но и фундаментальная направленность решаемых задач.

2. Теория ГМНДСЗК, базирующаяся на четырех фундаментальных гипотезах геодинамики, обеспечивает:

– аналитическую связь кинематики блока земной коры с параметрами проявлений ГДЯ на основе пространственной структурной модели геодезических построений ГДП;

– регистрацию медленных скоростей деформаций земной коры (менее  $1 \cdot 10^{-6}$  в год), не приводящих к образованию разломов и других ГДЯ;

- учет иерархии напряженно-деформированного состояния земной коры Кузбасса на основе многоуровневых геодезических построений ГДП;
- возможность поэтапности создания указанного мониторинга.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ямбаев Х. К., Яценко В. Р. Геодезический мониторинг движений земной коры: состояние, возможности, перспективы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 145–162.
2. Ежирова А. У. Маркшейдерско-геодезические наблюдения за деформациями земной поверхности при освоении нефтегазовых месторождений // Вестник АИНГ. – 2016. – № 1(37). – С. 14–18.
3. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах : метод. руководство. – М. : ЦНИИГАиК, 1985. – 113 с.
4. Грунин А. Г., Кузьмин Ю. О., Фаттахов Е. А. Проблемные вопросы проектирования геодинамических полигонов на месторождениях УВ // Маркшейдерский вестник. – 2014. – № 6. – С. 24–31.
5. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С., Лисицкий Д. С. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 22–30.
6. Серебрякова Л. И. О методическом руководстве по геодинамическим исследованиям в системе Росреестра // Геодезия и картография. – 2013. – № 10. – С. 45–50.
7. Шестаков Н. В., Герасименко М. Д. К вопросу об оптимизации проектирования деформационных геодезических GPS-сетей // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 5. – С. 11–17.
8. 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.
9. 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. : Московск. гос. горн. ун-т, 2008. – 39 с.
10. Бузук Р. В., Ардеев В. Н. Совершенствование методов регистрации проявлений активных геодинамических процессов / под ред. В. В. Иванова. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. – 108 с.
11. 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.
12. 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.
13. Дорогова И. Е. Изучение движений и деформаций земной коры на геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 7–11.
14. 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

во : Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр ВНИМИ. Кемеровское Представительство, 2006. – 181 с.

15. 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.

16. Лобанова Т. В., Новикова Е. В. Спутниковые наблюдения за развитием геодинамических процессов в районах тектонических нарушений Таштагольского месторождения // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 5. – С. 278–282.

17. Геодинамическая безопасность разработки железнорудных месторождений Сибири / В. А. Квочин, В. В. Билибин, Т. П. Васильченков, Т. В. Лобанова и др. // Горный журнал. – 2005. – № 11. – С. 44–53.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. Колмогоров В. Г., Калюжин В. А. Приповерхностные деформации в районе Таштагольского геодинамического полигона // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 15–19.

22. Тимофеев В. Ю. Обобщение результатов долговременных демографических и GPS-наблюдений для внутриплитных областей // Физика Земли. – 2014. – № 6. – С. 37–54.

23. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06–329–99) / Колл. авторов. – М. : ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 66 с.

24. Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л. : ВНИМИ, 1971. – 188 с.

25. Шерман С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры. – Новосибирск : Наука, 1977. – 100 с.

26. Соловицкий А. Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород / Под ред. П. В. Егорова. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. – 260 с.

27. Наземное лазерное сканирование: монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.

28. Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Особенности технологии изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 58–61.

29. 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.

30. 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 [Electronic resource] // 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety. – September, 2016. – Mode of access: <http://www.atlantis-press.com/php/pub.php?publication=coal-16>.

31. Perhin V., Solovitskiy A. New Opportunities to Expand Information on Intens – Strained State of the Earth's Crust in the Areas of Development Mineral Resources During Monitoring Creation [Electronic resource] // The Second International Innovative Mining Symposium. – November, 2017. – Mode of access: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101009>.

32. Магницкий В. А. Слой низких скоростей верхней мантии Земли. – М. : Недра, 1968. – 29 с.

33. Магницкий В. А. Внутреннее строение и физика Земли. – М. : Недра, 1965. – 379 с.

34. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. – М. : Недра, 1988. – 166 с.

35. Геодинамическое районирование недр. – Л. : ВНИМИ, 1990. – 129 с.

Получено 13.06.2019

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

## **ABOUT THE METHODOLOGICAL ASPECT OF GEODETIC MONITORING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE EARTH'S CRUST UNDER THE DEVELOPMENT OF THE KUZBASS SUBSURFACE**

*Anatolij I. Kalenizkiy*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor-Consultant, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)361-01-59, e-mail: [kaf.astronomy@ssga.ru](mailto: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](mailto:san.mdig@mail.ru)

Geodetic monitoring systems in various fields of the national economy are considered, their relevance is established. It is noted that in the development of the Kuzbass subsurface, geotechnical (surveying) monitoring is dominant. To conduct comprehensive monitoring of the state of the subsurface, it was proposed to develop geodetic monitoring of deformations of the earth's crust. The main contradiction of the development of this method has been established: on the one hand, a significant increase in accuracy, efficiency and automation of measurements, on the other hand, the lack of development of the theory and the lack of adequate models that take into account the structure and hierarchy of the earth's crust. Traditional technologies use flat models of the earth's crust that do not provide such accounting. Therefore, the aim of research is to develop a methodology for creating geodetic monitoring of the stress-strain state of the earth's crust during the development of the Kuzbass subsurface. To achieve this goal, a problem has been formulated, including improving the theory of this monitoring based on the use of fundamental hypotheses of geodynamics. The practical use of this theory ensures the creation of three main components of this geodetic monitoring to obtain information on the development of geodynamic and technogenic processes in the development of the subsurface of Kuzbass.

**Key words:** block of the Earth's crust, stress state, observation station, geodetic monitoring, geodynamic test site, hypothesis, methodology, geodynamic process.

## REFERENCES

1. Yambaev, Kh. K., & Yashchenko, V. R. (2012) Geodesic monitoring of the crustal movements: state, possibilities, prospects. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 145–162). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
2. 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 Atyrauskogo universiteta nefti i gaza [Atyrau University of Oil and Gas Bulletin]*, 1(37), 14–18 [in Russian].
3. Geodetic methods for studying the deformations of the earth's crust at geodynamic polygons [*Geodezicheskie metody izucheniya deformatsij zemnoj kory na geodinamicheskikh poligonah*]. (1985). Moscow: TsNIIGAIK Publ., 113 p. [in Russian].
4. Grunin, A. G., Kuzmin, Yu. O., & Fattakhov, E. A. (2014). Problematic issues of designing geodynamic polygons at hydrocarbon fields. *Marksheydersky Vestnik [Mine Surveying Bulletin]*, 6, 24–31 [in Russian].
5. Gulyaev, Yu. P., Khoroshilov, V. S., & Lissitzky, D. S. (2014). On the correct approach to mathematical modeling of deformation processes of engineering structures based on geodetic data. *Izvestija vuzov. Geodezija i aerofotos'emka [Izvestija Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4/C, 22–30 [in Russian].
6. Serebryakova, L. I. (2013). On the methodological guide for geodynamic studies in the Rosreestr system. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 45–50 [in Russian].
7. Shestakov, N. V., & Gerasimenko, M. D. (2009). To the question of optimizing the design of deformation geodetic GPS networks. *Izvestija vuzov. Geodezija i aerofotos'emka [Izvestija Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 5, 11–17 [in Russian].
8. Seredovich, V. A., Pankrushin, V. K., Kuznetsov, Yu. I., Mazurov, B. T., & Lovyagin, V. F. (2004). *Identifikaciya dvizhenij i napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya samoorganizuyushchihsysa 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].
9. 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].
10. Buzuk, R. V., & Ardeev, V. N. (2003). *Sovershenstvovanie metodov registracii 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].
11. Kartashov, M. P., & Esikov, N. P. (1983). Study of the deformations of the earth's surface at the Kuzbass geodynamic site. In *Sovremennye 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].
12. 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].

13. 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 SSGA [Vestnik SSGA]*, 2(13), 7–11 [in Russian].
14. 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].
15. 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. Geoekologiya [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].
16. 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].
17. 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].
18. 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 konferentsii: Regional'nye problemy ustojchivogo razvitiya prirodnorekursnykh 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].
19. 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].
20. 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].
21. 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].
22. Timofeev, V. Yu. (2014). Generalization of the results of long-term demographic and GPS observations for intraplate regions. *Fizika Zemli [Physics of the Earth]*, 6, 37–54 [in Russian].
23. Instructions for the safe conduct of mining at ore and non-metallic deposits, construction sites of underground structures, prone and dangerous for mining shocks (RD 06-329-99). (2000). Moscow: SE NTTs on safety in the industry of the Gosgortekhnadzor of Russia Publ., 66 p [in Russian].
24. Instructions for monitoring the deformations of the sides, slopes, ledges and openings in quarries and the development of measures to ensure their sustainability. (1971). Leningrad: VNIMI, 188 p [in Russian].

25. Sherman, S. I. (1977). *Fizicheskie zakonomernosti razvitiya razlomov zemnoy kory* [Physical laws of the development of faults in the earth's crust]. Novosibirsk: Science Publ., 100 p [in Russian].
26. 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].
27. Seredovich, V. A., Komissarov, A. V., Komissarov, D. V., & Shirokova T. A. (2009). *Nazemnoe lazernoe skanirovanie* [Terrestrial laser scanning]. Novosibirsk, SSGA, 261 p. [in Russian].
28. 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].
29. 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].
30. 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>.
31. Pershin, V., & Solovitskiy, A. (2017). Nev 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>.
32. Magnitskiy, V. A. (1968). *Sloy nizkikh skorostey verkhney mantii Zemli* [A layer of low velocities of the Earth's upper mantle]. Moscow: Nedra Publ., 29 p. [in Russian].
33. Magnitskiy, V. A. (1965). *Vnutrennee stroenie i fizika Zemli* [Internal structure and physics of the Earth]. Moscow: Nedra Publ., 379 p. [in Russian].
34. Batugina, I. M., & Petukhov, I. M. (1988). *Geodinamicheskoe rajonirovanie mestorozhdenij pri proektirovanii i ehkspluatatsii rudnikov* [Geodynamic zoning of deposits in the design and operation of mines]. Moscow: Nedra Publ., 166 p. [in Russian].
35. *Geodynamic zoning of subsoil* [Geodinamicheskoe rajonirovanie nedr]. (1990). Leningrad: VNIMI Publ., 129 p. [in Russian].

Received 13.06.2019

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