

УДК 52-827

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.01.028

Каллистова Татьяна Вячеславовна

младший научный сотрудник,
Институт горного дела
Уральского отделения РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: t.kallistova@inbox.ru

Kallistova Tatiana V.

Junior researcher,
the Institute of mining, the Ural branch,
Russian academy of sciences,
620075, Yekaterinburg, Mamin-Sibiryak st., 58
e-mail: t.kallistova@inbox.ru

**ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ИЕРАРХИЧЕСКИ БЛОЧНОЙ СРЕДЫ****GEODYNAMICS MODEL OF
HIERARCHICAL MODULAR ENVIRON***Аннотация:*

Рассматривается методика моделирования геодинамического исследования структуры горного массива как иерархически сложенной блочной среды. Приведена схема проведения исследования как основы для создания геодинамической модели, методов получения данных, их обработки и анализа. В результате моделирования выделяются кластеры блоков, относящихся к отдельному уровню иерархии, что позволяет понять и прогнозировать механизм движения земной коры.

Ключевые слова: структура горного массива, иерархичность, блочность, геодинамическая модель, кластеризация блоков

Abstract:

There are technique of the modeling of geodynamic studies of the rock mass structure as a hierarchically folded and modular environment. There are scheme of the study as a basis for the geodynamic models creation, methods of obtaining, processing and analysis of the data. As a result of modeling the modules clusters are divided by belonging to the one level of the hierarchy that allows us to understand and forecast the mechanism of the Earth's crust moveents.

Key words: rock massive structure, hierarchy, modularity, geodynamics model, modules clustering

До сих пор одним из актуальных направлений в изучении движений земной коры является определение ее структуры. Знание о структуре земной коры, взаимодействия отдельных блоков необходимо для решения задач моделирования, корректной математической обработки и разработки геоинформационной системы для наиболее полной интерпретации геодезических данных о движениях земной поверхности. Данная работа посвящена вопросам моделирования движения земной коры на основе знаний о структуре участка земной поверхности, претерпевающей движения поступательного и вращательного характера, по результатам мониторинга геодезических наблюдений.

Кратко понятие геодинамики можно определить как область наук о Земле, рассматривающую геологические процессы с точки зрения действующих сил, а модель – как упрощенное представление объекта, процесса или явления, позволяющее получить информацию о реальном объекте, процессе или явлении. Таким образом, геодинамическая модель литосферы предполагает моделирование движения литосферных плит, что должно послужить основой для прогноза дальнейшего развития деформаций.

Для построения такой модели следует исходить из целей создания модели и объема решаемых задач. Первоочередной целью будет с помощью наблюдений, проводимых непосредственно на земной поверхности и на относительно небольших глубинах, произвести анализ тектонических движений, напряжений и их характеристик в развитии во времени и пространстве. Чтобы перейти к конкретизации задач, необходимо иметь представление о горном массиве как о среде исследования. В понимании массива мы придерживаемся позиции слоистой иерархически блочной среды (А.Д. Сашурин, А.Е. Балец, В.В. Мельник, А.А. Панжин, Ю.П. Коновалова и др.), где структура массива представляется в виде вложенных друг в друга блоков в иерархическом порядке [1 – 6].

О существовании иерархичности блочной структуры до сих пор мнения расходятся диаметрально. Кроме того, нет единого согласия насчет классификации

иерархичности (ранговой делимости) и среди единомышленников (табл. 1). Вместе с тем, исследования и открытия последних десятилетий показали, что массив скальных горных пород имеет более детальную блочную делимость и более сложное иерархическое строение, чем это отражено в самых подробных классификационных схемах.

Таблица 1

Сборная классификация иерархичности [4]

Линейные размеры структурных блоков	Ранги С.И.Шермана	Ранги И.М.Батугиной и И.М.Петухова	Ранги Р.М.Лобацкой	Уровни М.В.Раца
0,1 мм – 1см	1		1	3
1 см – 1 м	2		2	2
1 м – 100 м	3			1
100 м – 1 км	4	5	3	
1 – 5 км	5	4		
5 – 50 км	6	3		0
50 – 150 км	7	2	4	
150 – 300 км	8	1		
300 – 500 км	9	Мегаблоки		5
500 – 1200 км	10	Литосферные плиты		
1200 – 2500 км	11		6	
Более 2500 км	12			

Для построения модели необходимо учитывать некоторые простые правила, изложенные ниже.

1. *Модель должна быть простой и удобной для использования.* Это означает, что не стоит нагромождать на модель различные задачи и параметры. Здесь надо четко разделять цели. Для простоты и удобства представим нашу модель в виде схемы (рис. 1), на которой отображены задачи, решаемые данной моделью.

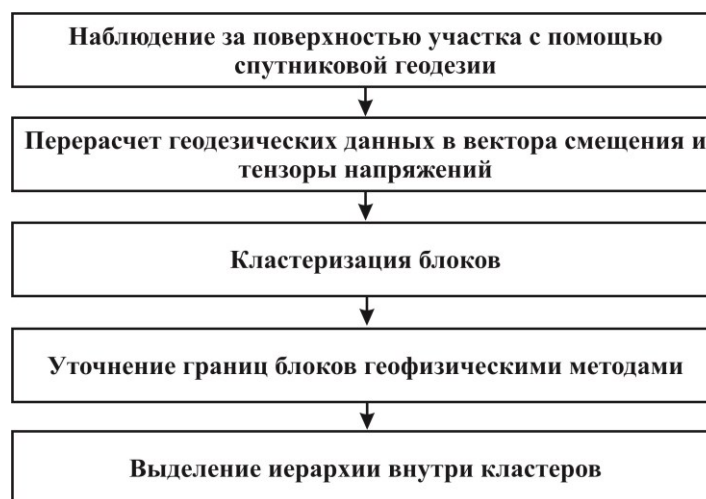


Рис. 1 – Схема кластеризации блоков

Регистрацию сдвижения реперов удобно осуществлять методом спутниковой геодезии [1, 5], которая позволяет с наибольшей точностью и оперативностью получать и обрабатывать материалы с помощью специальных программ. В итоге получаются схемы, представленные на рис. 2.

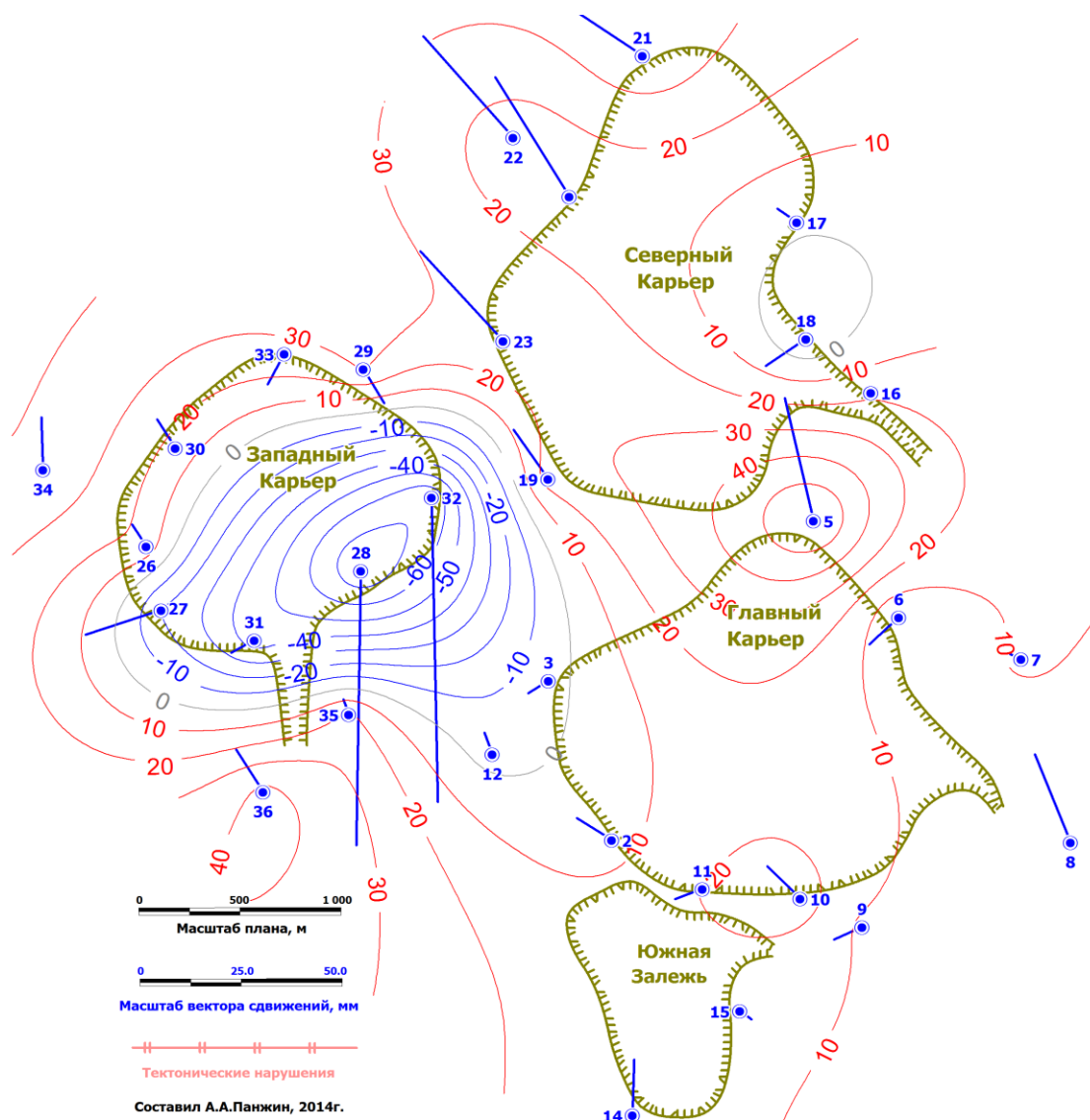


Рис. 2 – Вектора горизонтальных и изолии вертикальных сдвижений Качканарского месторождения [6]

Уточнение границ блоков и структуры исследуемого участка земной коры проводится геофизическими методами. Для этого используется комплекс-метод из георадарных данных и/или данных спектрального сейсмопрофилирования, позволяющих определить разрушенные участки, свидетельствующие о разломных границах (рис. 3) [6]

Используя в своей практике кластерный анализ, можно выполнить кластеризацию блоков. Причем разбивка на подблоки структуры земной коры происходит на основе принципа «от общего к частному», раскрывающего существующую соподчиненность элементов блочной структуры. Математический аппарат для кластеризации кратко изложен в статьях И.Е. Дороговой [7, 8].

2. Отражать все существенные черты строения и свойств пород. При создании геодинамической модели существенными характеристиками горного массива будут являться его слоистость и блочность.

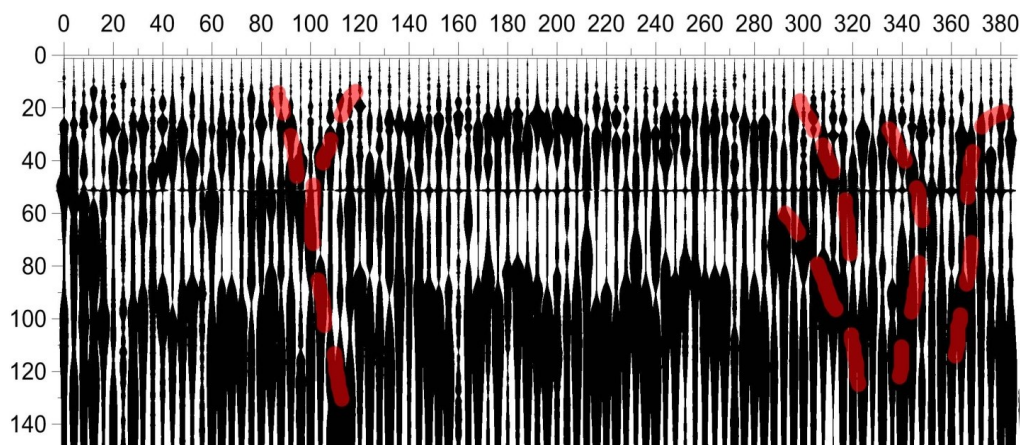


Рис. 3 – Разломные линии на спектральном сейсморазрезе Качканарского месторождения [6]

В литосфере со слоистой структурой под действием значительных напряжений могут возникнуть послойные движения с различной скоростью. Это подтверждается множеством геологических данных, указывающих на проявления такой тектонической расслоенности в различных регионах. При описании глобальных горизонтальных движений с масштабом в тысячи километров проявляется нижний литосферный ярус, для описания которого сохраняются все построения «классической» тектоники плит. Однако при рассмотрении региональных тектонических процессов с характерным масштабом в сотни километров необходимо переходить к верхнему коровому ярусу (или ярусам) геодинамической системы. В их пределах верхний хрупкий слой коры разбит на отдельные микроплиты и блоки регионального масштаба, способные перемещаться по подстилающему слою или нескольким слоям (например, чехол, верхняя кора, нижняя кора). Такие микроплиты и блоки можно уже с полным основанием считать тонкими и применять к ним стандартные кинематические построения тектоники плит, т.е. описывать их относительное движение, вводя соответствующие полюса вращения.

Различные слои могут вести себя тектонически активно и испытывать деформации в зависимости от движений, происходящих в слое.

Современные исследования огромного количества экспериментальных данных позволяют выделить два типа геодинамических подвижек: поступательные и вращательные; и трендовые и циклические [9]. Трендовые движения проявляются в виде взаимных подвижек соседних структурных блоков массива горных пород с относительно постоянными скоростью и направлением в течение продолжительного промежутка времени, сопоставимого со сроком службы объекта. Циклические движения носят полигармонический характер и слагаются из многочисленных знакопеременных движений с разными частотами и амплитудами перемещения в циклах с продолжительностью 0,1 – 1,0 года.

С другой стороны, геодинамические движения можно определить как:

1. Поступательные горизонтальные и вертикальные движения (рис. 4).

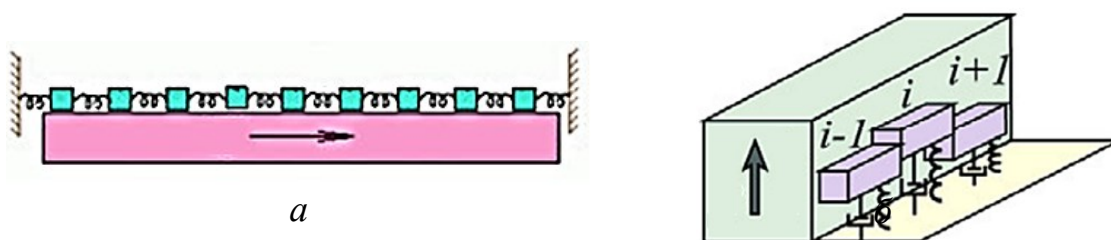


Рис. 4 – Схемы поступательного горизонтального (а) и вертикального (б) движения блоков

2. Вращательные движения (рис. 5).

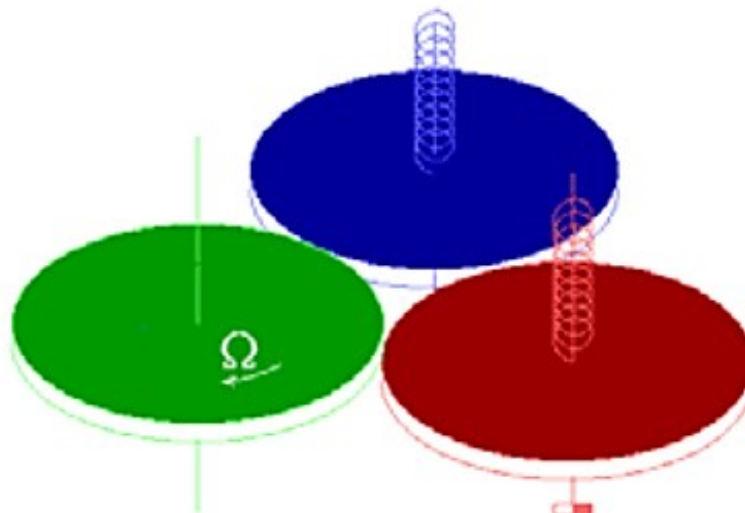


Рис. 5 – Схема вращательного движения блоков

3. Спиралевидные объемные движения (рис. 6). Третий вид геодинамических движений образуется при совмещении горизонтальных и вертикальных поступательных движений с вращательными в пространстве. Так образуется спираль, при разложении которой в плоскости можно будет выделить трендовую и циклическую составляющие. Направление тренда формируют направления и величины горизонтальных и вертикальных смещений. А циклическость определяет характер вращательных движений. Таким образом, видна четкая взаимосвязь как между поступательными и вращательными движениями, так и между трендовыми и циклическими геодинамическими движениями.

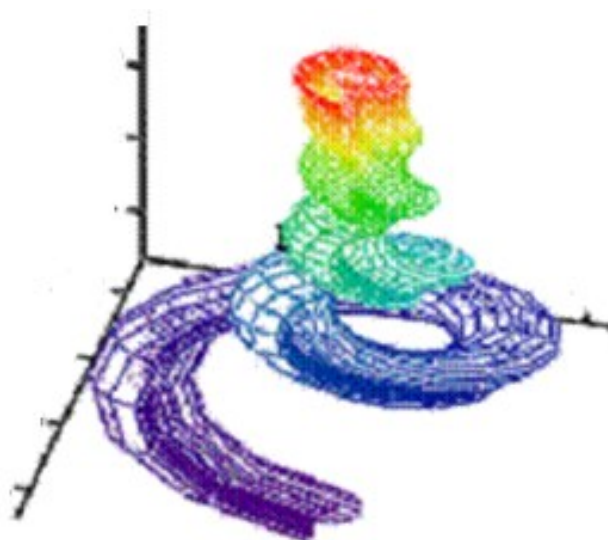


Рис. 6 – Схема спиралевидного объемного движения блоков

Взаимодействие блоков в структуре горного массива является очень сложным, поскольку здесь должно учитываться взаимодействие всех связей между блоками, лежащими в одном слое, и связью между блоком, относящимся к более высокому порядку. Вложенность блоков по М.А. Садовскому равна 2,5 – 3 [10]. Это значит, что один блок вмещает в себя 3 подблока. И при движении одного блока, приходят в движение другие блоки и подблоки. Такой вид взаимодействия создает сложность в интерпретации и анализе сдвижений горных масс.

Объединяя представления о слоистой иерархически блочной структуре массива и видах геодинамических движений, можно изобразить модель, представленную на рис. 7. Такое упрощенное представление, с одной стороны, отражает основные особенности строения горного массива, с другой – исключает излишнюю информацию.

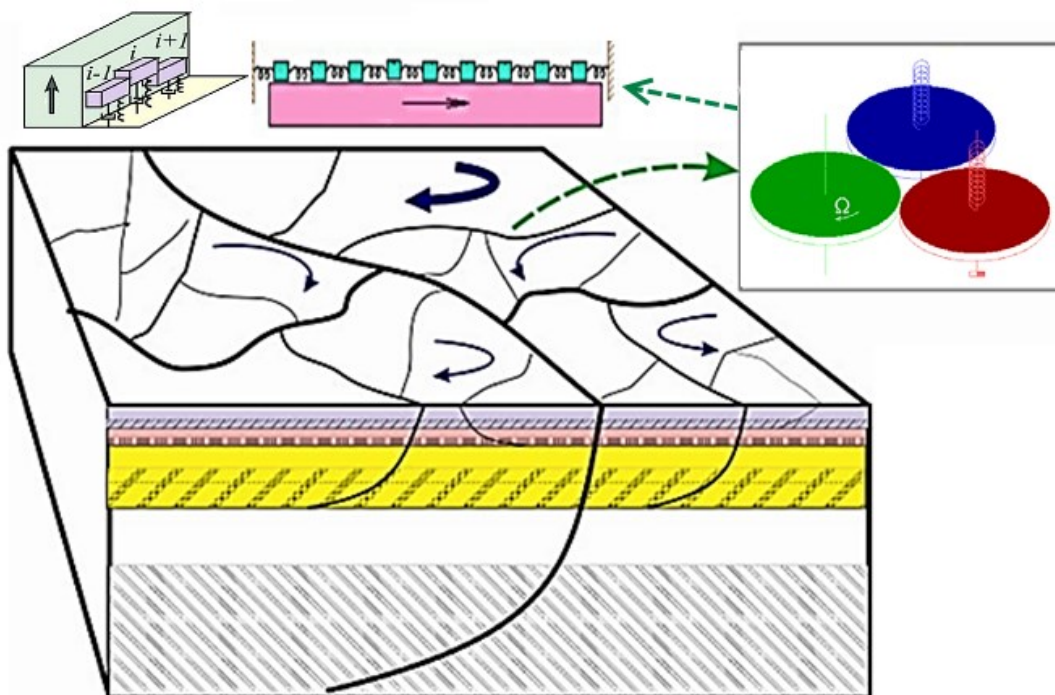


Рис. 7 – Модель движения блоков в массиве [11]

3. Включать только те параметры, которые применяются в методах этой модели. Важно заметить, что при построении модели следует уделить особое внимание масштабным и временным факторам, отражающим иерархически блочную структуру массивов. После этого уже можно будет конкретизировать набор параметров, используемых в модели.

Метод спутниковой геодезии позволяет пересчитывать координаты в вектора и по ним уже находить данные о смещении, скорости деформирования и действующих напряжениях [1,6]:

- 1) по измерению пространственных координат реперов наблюдательной станции вычисляются полные вектора сдвижения точек земной поверхности;
- 2) по величине и направлению действия векторов смещения реперов определяются скорости сдвижения массива горных пород;
- 3) по изменению расстояний между реперами наблюдательной станции и превышений между ними определяются параметры пространственного поля вертикальных и горизонтальных деформаций, а также скорости их приращения;
- 4) по изменению во времени основных компонентов поля пространственных деформаций вычисляются приращения тензоров поля естественных и техногенных напряжений;
- 5) путем специального анализа суммарные тензоры приращения напряжений раскладываются на тензоры поля естественных и техногенных напряжений;
- 6) и, наконец, путем соответствующей группировки параметров тензоров напряжений и векторов сдвижения в массиве на основе представленной геодинамической модели выделяются основные блоки и уточняются границы между ними геофизическими методами.

4. Быть пригодной для расчетов существующими методами. Это проверка на соответствие самой модели и искомых параметров.

Получаемые в результате моделирования данные о структуре горного массива, современном напряженно-деформированном состоянии и закономерностях его изменения во времени, с одной стороны, дают фундаментальные знания о природе естественных деформационных процессов, протекающих в верхней части земной коры, с другой – служат для прогноза развития процесса движения и принятия целого комплекса технических решений по безопасной и эффективной разработке месторождений.

Литература

1. Сашурин А.Д. GPS-Технологии в исследовании деформационных процессов на горных предприятиях / А.Д. Сашурин, А.А. Панжин, Ю.П. Коновалова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 11. – С. 98 - 101.
2. Каллистова Т.В. Влияние тектонического строения массива на деформационные свойства оснований инженерных сооружений / Т.В. Каллистова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 5. – С. 163-168.
3. Мельник В.В. Исследование процесса вторичного структурирования массива горных пород и их роли в формировании аварийных ситуаций природно-техногенного характера / В.В. Мельник, А.Л. Пустуев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – Июль. – С. 105 - 108.
4. Балек А.Е. Особенности формирования напряжений в крепи вертикальных выработок в условиях запредельного напряженно-деформированного состояния скальных породных массивов / А.Е. Балек // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 202 - 212.
5. Панжин А.А. Природное и техногенно измененное напряженно-деформированное состояние породного массива на ССГПО / А.А. Панжин, Н.А. Панжина // Маркшейдерия и недропользование. – 2014. – № 5. – С. 44 - 51.
6. Сашурин А.Д. Решение задачи устойчивости бортов в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм карьеров / А.Д. Сашурин, В.В. Мельник, А.А. Панжин // Инженерная защита. – 2015. – № (7). – С. 80-86.
7. Дорогова И.Е. Изучение горизонтальных движений земной коры вращательного характера по данным геодезических наблюдений / И.Е. Дорогова // Геодезия и картография. – № 4. – 2013. – С. 37 - 40.
8. Дорогова И.Е. Выявление блоковой структуры области земной коры, испытывающей горизонтальные движения вращательного характера / И.Е. Дорогова // Геодезия и картография. – № 5. – 2013. – С. 36 - 39.
9. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании / Ю.О. Кузьмин. – М.: Агентство экологических новостей, 1999.
10. Садовский М.А. Иерархическая дискретная структура литосферы и сейсмический процесс / М.А. Садовский, И.Л. Нерсесов, В.Ф. Писаренко // Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. - М.: Наука, 1987. – С. 182 - 191.
11. Захаров В.С. Самоподобие структур и процессов в литосфере по результатам фрактального и динамического анализа: дис. ... докт. геол.-мин. наук: 25.00.03 / В.С. Захаров. – М., 2014. – 281 с.