

УДК 622.831.3

**Сашурин Анатолий Дмитриевич**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий отделом геомеханики,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [sashour@igd.uran.ru](mailto:sashour@igd.uran.ru)

**ФОРМИРОВАНИЕ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИ  
БЛОЧНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

**Sashourin Anatoly D.**  
Doctor of technical sciences,  
professor, the head of the department,  
The Institute of Mining UB RAS,  
620075, Yekaterinburg,  
Mamin-Sibiryak St., 58  
e-mail: [sashour@igd.uran.ru](mailto:sashour@igd.uran.ru)

**FORMING STRESSED-DEFORMED  
STATE OF HIERARCHICALLY  
UNITIZED ROCK MASS**

*Аннотация:*

*Рассмотрено развитие научных представлений о формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород в условиях его естественного залегания. Выявлены основные факторы, определяющие структуру и параметры полей напряжений и деформаций, в качестве которых выступают иерархически блочное строение массива горных пород и современные геодинамические движения. Вызванное ими явление вторичного структурирования иерархически блочного массива формирует дискретное мозаичное напряженно-деформированное состояние.*

*Ключевые слова:* напряженно-деформированное состояние, массив горных пород, иерархическая блочность, вторичное структурирование, дискретность, мозаичность.

*Abstract:*

*The progress of scientific conceptions on forming stressed-deformed rock mass state in natural bedding conditions is considered. Basic factors defining both the structure and parameters of stresses and deformation fields are revealed, hierarchically unitized rock mass structure and up-to-date geodynamic motions advancing in the capacity of them. The phenomenon of hierarchically unitized rock mass secondary structurization caused by them, forms discrete stressed-deformed state of mosaic structure.*

*Key words:* stressed-deformed state, rock mass hierarchically unitized structure, secondary structurization, discreteness, mosaic structure.

Создание и эксплуатация социальных и промышленных объектов и, собственно, вся жизнь и экономическая деятельность человечества протекают на земной поверхности и в приповерхностной части литосферы. В связи с этим безопасность, благоприятные условия проживания и эффективность экономической деятельности в большей мере зависит от знания и учета процессов и явлений, протекающих в массиве горных пород и на земной поверхности.

Уже в конце прошлого века японский ученый С. Уеда отмечал, что из всех современных наук наиболее быстро развивающимися становятся науки о Земле. В тех их отраслях, которые изучают твердую часть Земли, произошли феноменальные изменения, представляющие интерес не только для специалиста-ученого, но и для любого образованного человека, какие редко встречаются в той или иной области знаний [1].

Несмотря на столь положительную оценку общего прогресса в развитии наук о Земле, отдельные области знаний в этой отрасли существенно отстают от потребностей современного технического прогресса. В первую очередь, это относится к уровню знаний о формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород в условиях его естественного залегания, о его изменениях в области влияния масштабных техногенных систем и объектов. Следствием этого разрыва является постоянный интенсивный рост количества и тяжести последствий природно-техногенных катастроф на таких объектах как магистральные нефтегазопроводы, скоростные железнодорожные и автомобильные магистрали, здания и сооружения мегаполисов, электростан-

ции атомной и гидротехнической энергетики и, конечно, объекты горнодобывающих предприятий [2, 3, 4]. Жертвы их исчисляются десятками тысяч людей, а в отдельных случаях проявления потенциально опасных катастрофических событий угрожают миллионам людей.

Проблема выявления истоков и закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород обозначена, по крайней мере, во второй половине 19 века, но до настоящего времени не получила должного разрешения [5]. Фундаментальные и прикладные исследования по ее решению занимали ведущее место в деятельности Уральской школы геомехаников [6].

Первые экспериментальные результаты, поколебавшие принятые в первой половине 20-го века гипотезы А. Гейма и А.Н. Динника, в зарубежной практике были получены Ж. Талобром на подземных сооружениях гидроэлектростанций Франции, а в отечественной – на горных предприятиях Г.Н.Кузнецовым. В 60 – 70-х годах прошлого века произошел расцвет экспериментальных измерений напряженного состояния массива горных пород на горных предприятиях, начало которому инициировали работы Н. Хаста и ряда других зарубежных и отечественных ученых-геомехаников. Основное место среди этих исследований занимало горное дело.

Характерной особенностью натуральных измерений напряжений этого времени являлось использование малых баз для измерения деформаций. Следствием этого были большие разбросы в результатах, при которых лишь большой статистический материал позволял установить некоторые обобщенные характеристики, в частности, постоянство первого инварианта тектонических напряжений по регионам и глубине [7, 8].

Следующим шагом в исследовании напряженного состояния явилось использование больших баз в измерении деформаций, в качестве которых были использованы сдвиги горных пород. По замыслу этот прием должен был устранить неоднородности малых баз. Но при использовании возмущающих полостей большого размера измерения смещений производились на малых интервалах, что порождало большие погрешности [9].

Внедрение технологий спутниковой геодезии во многом продвинуло решение проблемы:

- стало возможным измерять деформации практически на любых базах при проведении экспериментальных работ на земной поверхности;
- одновременно появилась возможность исследовать современные геодинамические движения [10].

Обобщение результатов мониторинга деформационных процессов на геодинамических полигонах, оборудованных на территориях эксплуатируемых месторождений углеводородного сырья, позволило О.Ю. Кузмину выявить аномальные деформации и современные геодинамические движения в районах тектонических нарушений. Они носили циклический характер с продолжительностью циклов от 2 – 3 месяцев до полугода и более [11].

В последовавших далее экспериментальных работах Уральской школы геомехаников по исследованию современных геодинамических движений путем проведения непрерывных и дискретных наблюдений с использованием технологий спутниковой геодезии было выявлено два вида геодинамических движений: трендовые, имеющие относительно постоянные скорости и направления движения; циклические, имеющие полигармоничный характер, включающий продолжительность циклов от первых секунд до нескольких часов и дней [12, 13]. Экспериментальное определение параметров трендовых и циклических современных геодинамических движений к настоящему времени выполнено более чем на 25 объектах недропользования, охватывающих территорию России и Казахстана от Центрального региона до Якутии. На их основе создана база данных о современных геодинамических движениях [14]. Из нее следует, что оба вида

современных геодинамических движений имеют место во всех регионах, независимо от того, к сейсмичной или асейсмичной категории они относятся.

Утвердившиеся данные о современных геодинамических движениях в сочетании с переходом на большие базы измерений позволили сделать очередной важный шаг в познании формирования напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, а именно было установлено, что оно является переменным во времени. Дальнейшее углубление и детализация структуры полей напряжений и деформаций показали, что массив горных пород, имеющий априори иерархически блочное строение, в условиях постоянной подвижности и переменного напряженно-деформированного состояния, подвергается вторичному структурированию [15]. При этом на границах вторичных структурных блоков происходит концентрация современных геодинамических движений, и структура напряженно-деформированного состояния приобретает дискретный характер, определяемый вторичными структурными блоками.

Таким образом, основными факторами, определяющими формирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород являются иерархически блочное строение; постоянная подвижность; вторичное структурирование; концентрация современных геодинамических движений на границах вторичных структурных блоков. Под их воздействием в реальном массиве горных пород формируется мозаичное, относительно однородное по своим усредненным интегральным параметрам напряженно-деформированное состояние. При его относительной однородности в нем, казалось бы, трудно ожидать формирования аномальных зон с резко отличающимися параметрами, которые могли бы рассматриваться в качестве очаговых зон развития катастрофических событий.

Дальнейшее углубление неоднородности в структуре напряженно-деформированного состояния массива горных пород обусловлено фрактальным характером границ между соседними вторичными структурными блоками и отмеченной выше концентрацией по ним современных геодинамических движений. Взаимные перемещения соседних структурных блоков представляют собой вторичные движения. При фрактальности их границ выступы и впадины вступают во взаимодействие. Фрагмент границы соседних блоков и схема их взаимодействия показаны схематично на рис. 1.

Фронтальные плоскости выступов соседних блоков под воздействием геодинамических движений напозают друг на друга, создавая зоны концентрации сжимающих напряжений. Одновременно тыльные их плоскости расходятся, образуя зоны разряжения сжимающих напряжений и деформаций, депрессионные зоны, в отличие от зон концентрации, вплоть до полной разгрузки сжимающих напряжений [16].

Именно эта цепочка событий находится в основе формирования структуры и параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород, в котором возникают очаги катастрофических событий. Зоны концентрации сжимающих напряжений, возникающих на фронтальных плоскостях, представляют собой потенциальную опасность по возможности проявления наведенной сейсмичности в виде техногенных землетрясений. Депрессионные зоны проявляют себя в виде образования мульд проседания разгруженного деструктурированного массива вплоть до образования зон обрушения.

Пример наблюдения явно выраженных встречных современных геодинамических движений на Высокогорском месторождении, обрабатываемом шахтой Магнетитовой в г. Нижнем Тагиле, приведен на рис. 2. Следствием их явилось сейсмическое событие, произошедшее на этом участке 01.10.2009 с магнитудой 2,3 балла, и возникновение мульды проседания с величиной оседаний до 1,3 м на территории грузовой железнодорожной станции Гора Высокая, вызвавшей разрушение всех станционных путей и прилегающих промышленных зданий (рис. 3).

Аналогично деформационные процессы наблюдались в районе разработки Южной залежи на шахте Северопесчанской в районе г. Красноурьинска (рис. 4).

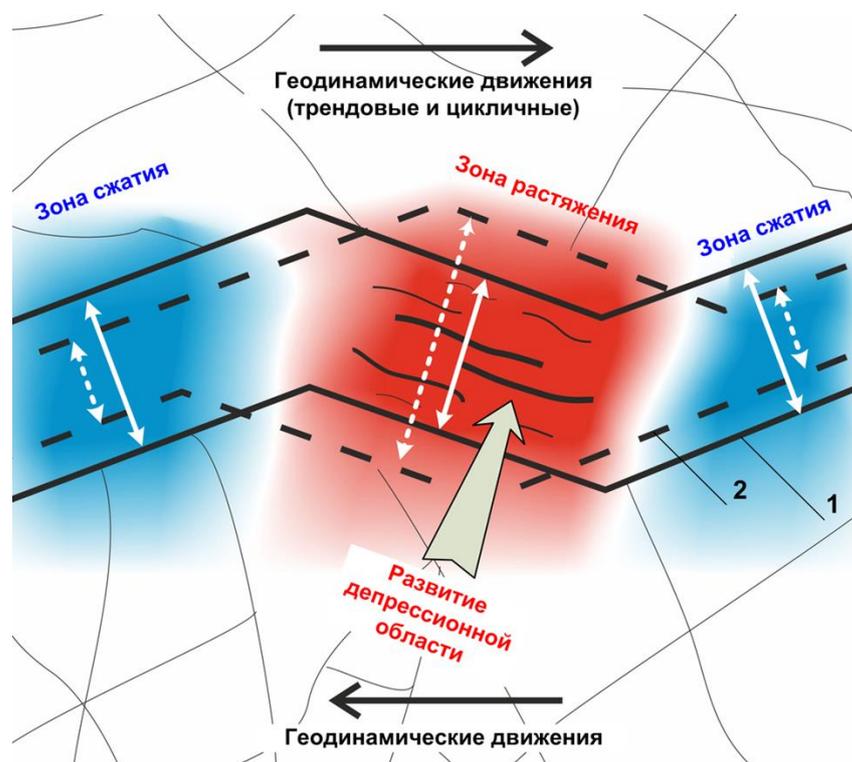


Рис. 1 – Схема образования зон концентрации под воздействием современных геодинамических движений в приграничных блоках

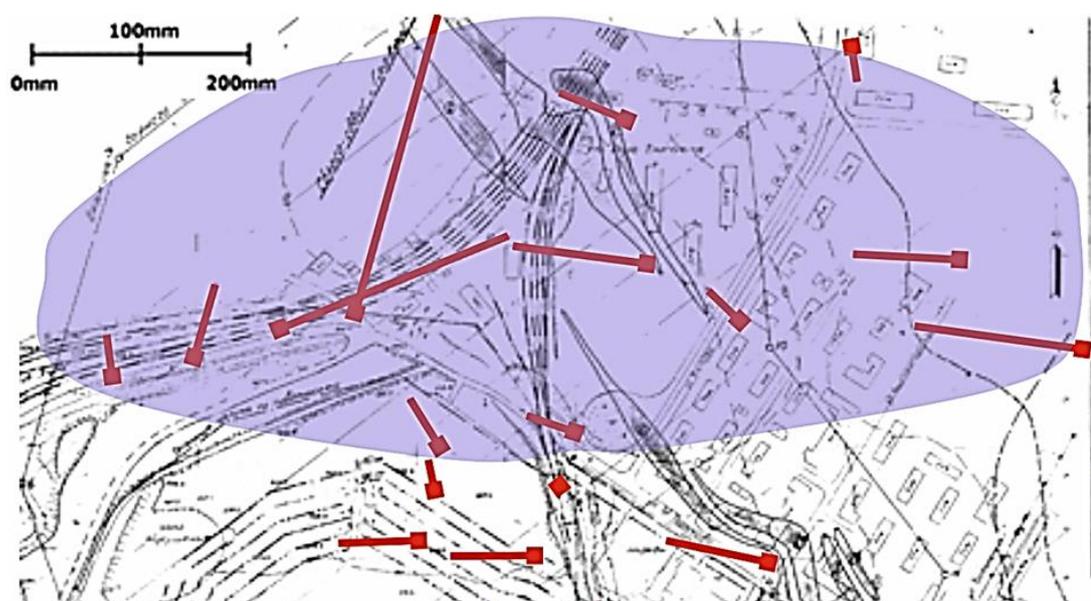


Рис. 2 – Векторы встречных геодинамических движений в районе железнодорожной станции на Высокогорском ГОКе в период с 2008 по 2009 г.

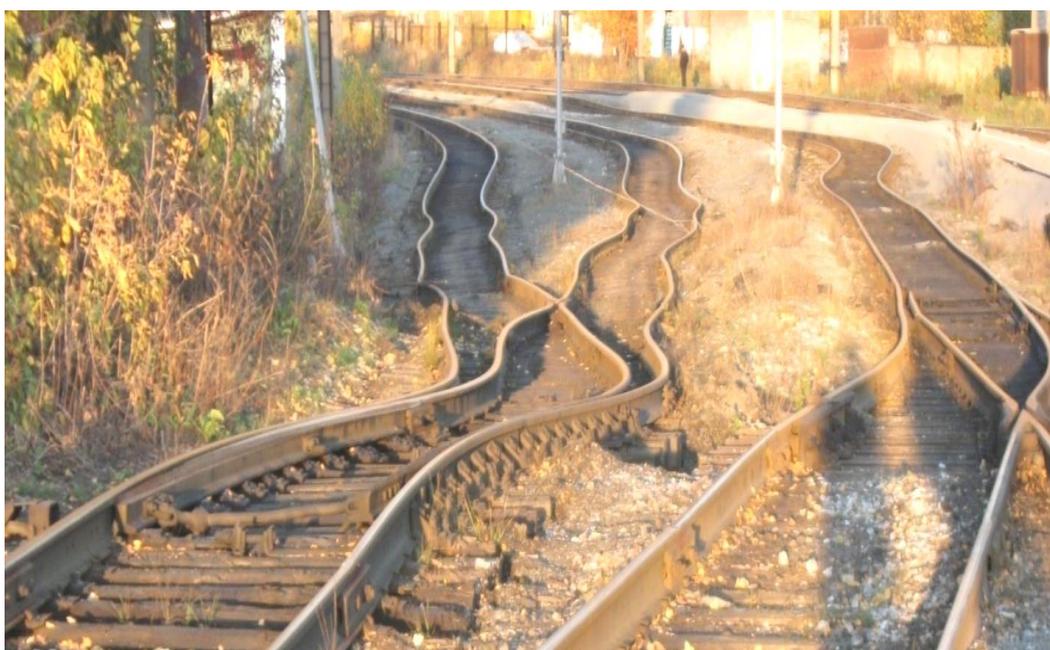


Рис. 3 – Нарушение железнодорожных путей станции в результате образования мульды оседаний в депрессионной зоне

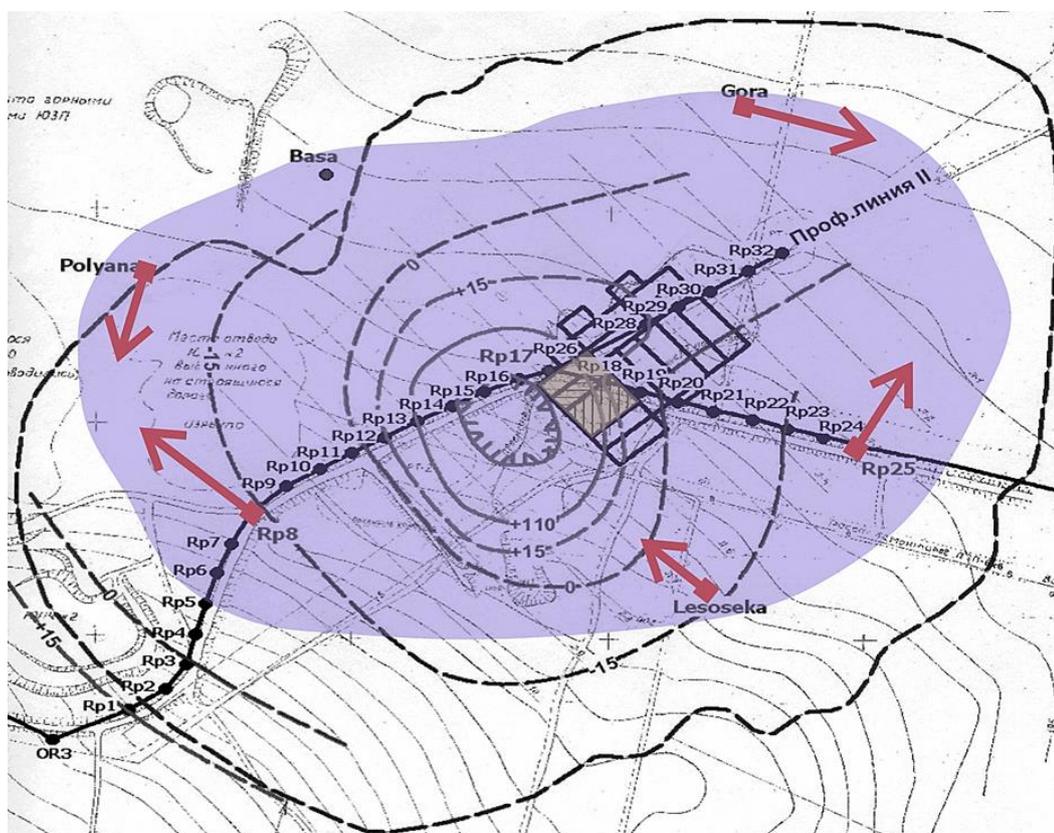


Рис. 4 – Векторы встречных геодинамических движений в районе Южной залежи Северопесчанского месторождения



Рис. 5 – Образование зоны обрушения над Южной залежью в депрессионной зоне (октябрь 2013 г.)

Следствием установленного специфического проявления современных геодинамических движений явилось образование на первом этапе мульды плавных проседаний, которая далее развилась в полномасштабную зону обрушения (рис. 5).

Таким образом, в формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород ведущая роль принадлежит двум фундаментальным его свойствам:

- иерархически блочной структуре, присущей всем крепким скальным породам;
- постоянной подвижности, обусловленной современными геодинамическими движениями трендового и циклического характера.

Под влиянием современных геодинамических движений иерархически блочный массив претерпевает процесс вторичного структурирования. На границах вторичных структурных блоков происходит концентрация современных геодинамических движений, которые на фронтальных элементах граничных областей создают зоны концентрации и депрессии тектонических напряжений, выступающих в роли очагов катастрофических событий.

### Литература

1. Уеда С. Новый взгляд на Землю / С. Уеда. - М: Мир, 1990. - 216 с.
2. Сашурин А.Д. Диагностика геодинамической активности с целью обеспечения безопасности объектов недропользования / А.Д. Сашурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2008. - № 6. – С. 274 - 278.

3. Сашурин А.Д. Уровень обеспеченности геодинамической безопасности объектов атомной энергетики / А.Д.Сашурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. - № 12. - С. 214 - 218.
4. Сашурин А.Д. Истоки и причины аварии на Саяно-Шушенской ГЭС: возможное развитие ситуации / А.Д. Сашурин // Гидротехническое строительство. – 2012. - № 1. - С. 37 - 43.
5. Heim A. Mechanismus der Gebirgsbildung. – Bale. - 1878.
6. Сашурин А.Д. Становление и развитие уральской школы геомехаников / А.Д. Сашурин // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сб. науч. трудов. Вып. 3 (93). Геомеханика в горном деле / ИГД УрО РАН.– Екатеринбург, 2005. - С. 3 - 12.
7. Сашурин А.Д. Сдвигание горных пород на рудниках черной металлургии / А.Д. Сашурин. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 268 с.
8. Исследование структуры поля напряжений в крепких горных породах и ее влияние на результаты натуральных измерений / А.Д.Сашурин и др. // Измерение напряжений в массиве горных пород. - Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1972. - С. 136 - 143.
9. Сашурин А.Д. Измерение напряженного состояния массива крепких горных пород на больших базах / А.Д.Сашурин // Измерение напряжений в массиве горных пород. Ч. I. –Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1976. – С. 106 - 111.
10. Панжин А.А. Деформационный мониторинг породных массивов на больших пространственно-временных базах / А.А.Панжин // Геомеханика в горном деле: доклады всероссийской конференции 10 – 11 окт. 2008 г. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008. – С. 75 - 86.
11. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании / Ю.О. Кузьмин. - М.: Агентство экономических новостей, 1999. - 220 с.
12. Сашурин А.Д. Геодинамика и безопасность освоения и эксплуатации георесурсов / А.Д. Сашурин, Н.А. Панжина // Проблемы индустриально-инновационного развития горнодобывающих отраслей промышленности и мировая геополитика освоения хризотилового волокна: материалы Пятой междунар. научно-практ. конф. 13 – 15 окт. 2010 г. / ИГД им. Д.А.Кунаева. – Алматы, 2010. – С. 207 – 211.
13. Панжин А.А. Исследование гармоник квазипериодических современных деформаций породного массива на больших пространственно-временных базах / А.А. Панжин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. - № 9. – С. 313 - 321.
14. Сашурин А.Д. База экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений /А.Д. Сашурин, В.В. Мельник, А.А. Панжин и др. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных от 26.02.2014 г. № 2014620345.
15. Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в области сильного техногенного воздействия / В.Н. Опарин и др. - Новосибирск: Изд-во СО РАН. - 2012. – 632 с.
16. Геодинамический фактор в формировании депрессионно-деструктивных областей в массиве горных пород / А.Д. Сашурин, С.В. Усанов, В.В. Мельник и др. // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: 2-я Российско-Китайская научная конференция 02 - 05 июля 2012 г. Сб. трудов 4. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. - С. 256 – 260.