

**Б.Г. Саксин, И.Ю. Рассказов, Б.А. Просекин**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ  
САМООРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ НА УДАРООПАСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ  
ВОСТОКА РОССИИ**

*На примере удароопасных рудных месторождений Хинганское и Антей, залегающих в разных условиях, рассмотрены возможности корректировки существующих представлений о механизмах формирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в рамках модели взаимодействия природной и техногенной геосистем. Выявлены новые закономерности, важные для прогнозных оценок при контроле геодинамической безопасности горных работ.*

*Ключевые слова: геомеханические процессы, горные работы, удароопасные месторождения, горное давление.*

---

**П**ри проведении комплексных исследований направленных на обеспечение геодинамической безопасности при ведении горных работ в сложных горногеологических и удароопасных условиях важное значение имеет построение и последующее уточнение адекватных математических моделей геомеханических процессов и механизмов формирования очагов разрушения в массиве горных пород [1-7]. Решение этой проблемы возможно на основе использования широкого спектра геомеханических, геологических, геофизических и иных данных, с максимальной полнотой характеризующих объект исследования.

Природная разгрузка напряженного состояния горного массива выражается на документах геологического содержания в виде участков повышенной трещиноватости пород. С такими структурно упорядоченными напряженными участками обычно сопряжены плоскости скольжения разного генезиса и направления, которые представлены разломами, мине-

рализованными зонами, либо контактами пород с неодинаковыми физико-механическими свойствами. Известно, что рудные месторождения, как правило, локализуются в пределах геологической среды, которая в прошлом была многократно структурирована. К началу горных работ эта среда находилась в равновесии с полем современных региональных напряжений, действующим в настоящее время в верхней части земной коры. Нельзя не упомянуть также, что главные особенности технологии разработки месторождения, определяются пространственными параметрами геосреды, такими как: характер эрозионного вскрытия объекта, мощность рудных тел, угол их падения, направление простирания, состояние вмещающих пород, и их обводненность и т.п. Морфология и параметры рудных тел определяют геометрию и объем выработанного пространства.

Согласно современным представлениям [8], фундаментальным свойством и формой существования геологической среды являются её блочно-

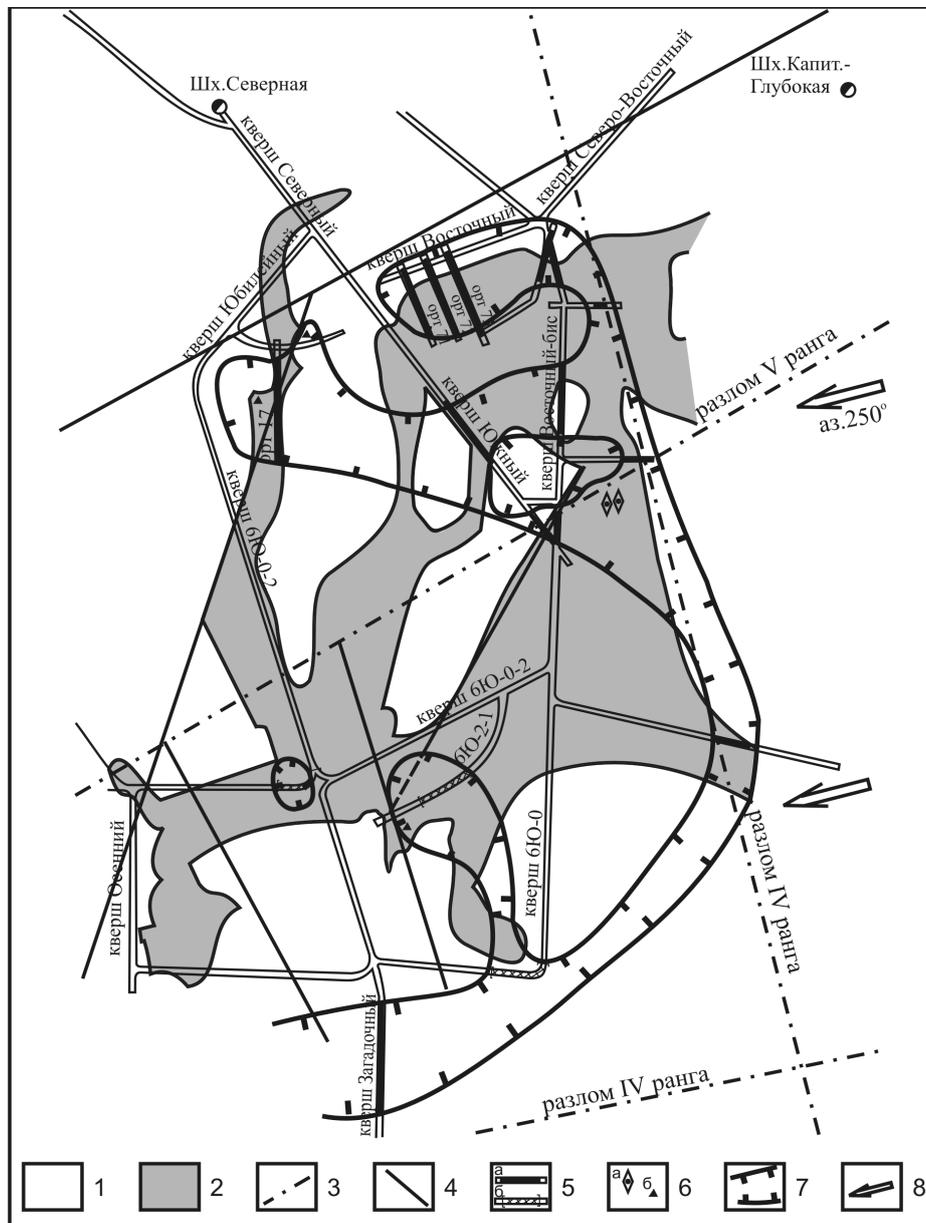
иерархическое строение и постоянное движение. В процессе формирования новой природно-техногенной системы это свойство активизируется в объеме шахтного поля. В зоне действия горного предприятия формируется локальное техногенное поле напряжений, которое взаимодействует с первоначальным природным полем. В результате перераспределения напряжений и их концентрации в отдельных частях массива, формируемая природно-горнотехническая система теряет равновесие. На нестыковках структурных и конструктивных элементов возникают области перестройки геосреды. Она может завершиться специфическими формами её разрушения – динамическими проявлениями горного давления разных масштабных уровней. В работе [2] очаги землетрясений и горных ударов рассматриваются как природные датчики, которые регистрируют нарушение динамического равновесия в плоскостях сместителей. В результате разрядки накопленных напряжений природно-техногенная система возвращается в равновесное состояние. Этап восстановления равновесия в системе некоторые авторы [1] предлагают называть процессом геомеханической самоорганизации иерархически блочной геологической среды шахтного поля.

Для рудных месторождений Востока России этот процесс осуществляется в области размерами от 30 до 250 млн. м<sup>3</sup> и происходит на фоне изменяющихся (от месторождения к месторождению) региональных напряжений. Учет последнего обстоятельства особенно усложнен в структурах гористого рельефа, где при изучении месторождений, отмечается явление сильного разброса измеренных значений напряжений не только по величине и знаку, но и по ориен-

тировке в пространстве. Подобные горные массивы принято называть высоконапряженными или тектонически напряженными [3, 5, 7].

Из сказанного следует, что исследование закономерностей проявления горного давления в пределах относительно небольшого объема контролируемой части шахтного поля должно проводиться не только с учетом характера техногенного воздействия применяемой системы отработки и направления вектора регионального сжатия, но и на основе представлений о пространственных особенностях архитектуры геологической среды месторождения. Рассмотрим это положение на примере двух удароопасных месторождений, расположенных в близкой геодинамической обстановке (мезозойский вулканический пояс, наложенный на древнее кристаллическое основание), но в разных структурных ярусах.

В верхнем ярусе залегает Хинганское оловорудное месторождение, которое локализовано в вулканиках мелового возраста, слагающих Хингано-Олонойскую вулканотектоническую депрессию в юго-восточной части Буреинского массива. Многоярусные рудные тела месторождения приурочены к субвертикальному округлому телу гидротермально-измененных эруптивных брекчий [9]. Формализованная модель месторождения может быть представлена конечным (протяженностью около 1600 м) вертикальным цилиндром диаметром 150-300 м с относительно низкими упругими и прочностными свойствами и с расширяющимся воронкообразным верхом, который залегает в однородных породах силикатного состава. Первые признаки удароопасности на месторождении появились с глубины около 500 м (горизонт +110 м). На рис. 1 показан геолого-структурный план



**Рис. 1. Геолого-структурная схема горизонта +40 м Хинганского месторождения:**  
 1 – кварцевые порфиры; 2 – эруптивные брекчии; 3 – выраженные в рельефе разломы; 4 – тектонические нарушения, установленные по геологическим данным; 5 – горные выработки на участках которых отмечены: а – шелушение и интенсивное заколообразование пород, б – вывалы пород; 6 – места динамических проявлений горного давления: а – микроударов, б – стреляний пород; 7 – обобщенный контур области, где проявлены признаки напряженного состояния массива горных пород; 8 – направление современного главного горизонтального напряжения (сжатия) в верхней части земной коры района

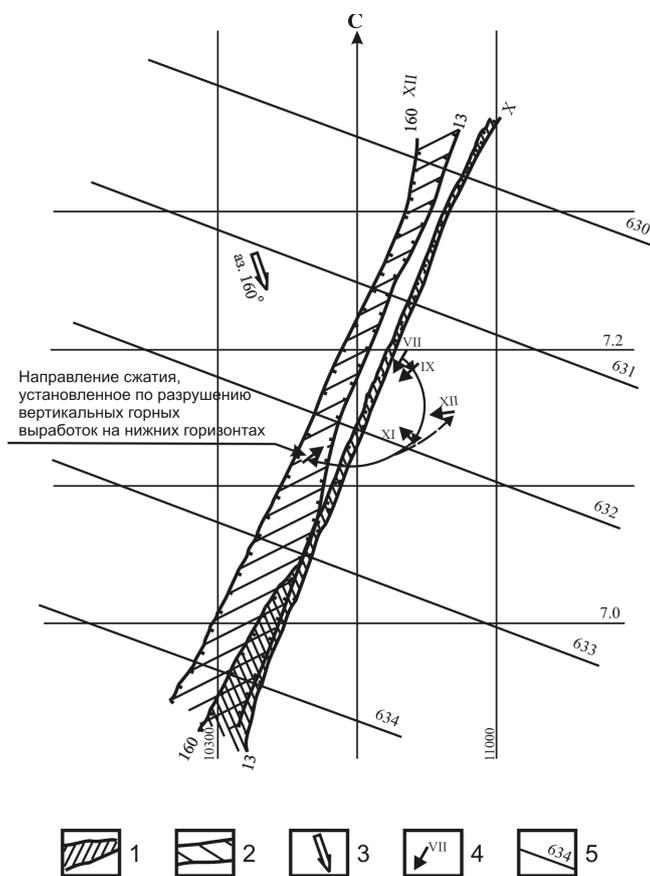
горизонта +40 м (глубина от поверхности 550 м), на который вынесены данные о признаках, указывающих на проявления удароопасности, приуроченные к высоконапряженным участкам массива горных пород [10].

При традиционном анализе плана можно предположить, что решающее значение в распределении этих признаков имеют: контакт разномодульных пород, а также геодинамически активные разломы.

Уровень напряжений в массиве определяется следующими факторами: расстоянием до линии контакта; упругими характеристиками литологических разностей; формой поверхностей раздела и их ориентацией по отношению к направлению действия главных напряжений [10]. При этом первоначальный анализ этих данных (условные знаки 1-6, рис. 1) не дает ответа на вопрос, почему динамическая активизация касается только некоторых участков разломов, а большинство контактов в юго-западной половине эруптивных брекчий остались пассивными. Объяснение, как нам представляется, следует искать в рамках модели геомеханической самоорганизации природно-горнотехнической системы в целом. Так, если все обнаруженные на горизонте признаки напряженного состояния массива горных пород объединить общим контуром, то получим кольцевую область именно на той стороне вертикальной цилиндрической неоднородности геологического разреза, которая обращена навстречу главным напряжениям (условные знаки 7-8, рис. 1). При подобной увязке исходных данных возникает новый структурный элемент – кольцевая напряженная область, в пределах которой происходит современная разрядка напряжений на контактах разномодульных пород и локализованных здесь участках разломов.

На рис. 1 видно, что на горизонте +40 м морфология тела брекчий достаточно сложна. Только в первом приближении обобщенный контур этого тела напоминает вытянутый эллипс. Однако радиус выделенной кольцевой области соответствует радиусу эруптивного аппарата (цилиндра) на обобщенной модели месторождения и составляет около 150 м.

Месторождение урановых руд Антей располагается в нижнем структурном ярусе. Специфика его позиции состоит в том, что месторождение не имеет выхода на поверхность и локализовано в пределах погребенного локального выступа (вала) кристаллического основания мезозойской кальдеры, сложенного гранитоидами палеозоя. Вал имеет северо-западное направление, крутой ( $35-46^\circ$ ) ЮЗ и относительно пологий ( $10-20^\circ$ ) СВ склоны. Рудовмещающим являются крутопадающие субпараллельные разломы ССВ ориентировки, которые имеют встречное падение (тектонический клин). Мощность толщи перекрывающих вулканитов 450-500 м. Разломы прослежены до глубины 1,5 км, а промышленное оруденение – до глубины более 800 м. Достаточно подробно геомеханические и геологические особенности месторождения рассмотрены в работах [11, 12]. Исследованиями установлено, что в массиве горных пород здесь действует неоднородное поле сжимающих напряжений, в котором преобладает горизонтальная составляющая. Выявленная неоднородность поля напряжений существенно усложняет решение любых задач, связанных с исследованием взаимодействия природной и техногенной систем, в том числе нацеленных на прогнозную оценку удароопасности. Формализованная модель месторождения может быть представлена полубесконечной кру-



**Рис. 2. Динамика изменения направления локального сжатия по мере углубления добычных работ на месторождении Антей:** 1 – положение разломов, ограничивающих тектонический клин на горизонте X; 2 – положение разломов, ограничивающих тектонический клин на горизонте XII; 3 – направление регионального сжатия (Колмаков, 1983); 4 – направление сжатия, установленное по разрушению горных выработок на горизонте и номер горизонта; 5 – разведочная линия и ее номер

топадающей пластиной с закрепленными концами и расщепленным верхом. Пластина характеризуется наименьшими значениями предела прочности на одноосное сжатие и предела упругости и залегает в силикатных породах, склонных к упругому деформированию и хрупкому разрушению. Протяженность её по простиранию более 300 м, а мощность 5-10 м.

Условия залегания тектонического клина с глубиной изменяются и это, по направлению сверху – вниз, качественно может быть описано следующей последовательностью: гребень вала – тело вала – подножье вала – крупный массив палеозойских гранитоидов. Описанная последовательность хорошо коррелирует с морфологическими особенностями погребенного рельефа жесткого основания кальдеры. К настоящему времени глубина отработки месторождения превысила 700 м и приближается к основанию вала.

Инструментальные измерения напряженного состояния и многолетние наблюдения за характером разрушения горных выработок на разных горизонтах шахтного поля, свидетельствуют о существенной неоднородности локального поля напряжений. При этом направление действия наибольших главных напряжений (субгоризонтального сжатия), закономерно взаимосвязано с морфологией погребенного рельефа фундамента. Так, если,

на горизонте VII (гребневая часть вала) оно составляет  $30^\circ$  и совпадает с простиранием рудоносных зон, то на горизонте IX (тело вала) оно уже составляет  $50^\circ$ , а на горизонте XII –  $90^\circ$  и согласуется с направлением общего простирания Центрально-Азиатского орогенного пояса (рис. 2). По результатам анализа разрушений контура вертикальных горных выработок на ниж-

них горизонтах месторождения установлено направление наибольшего сжатия по азимуту  $230^\circ$ , т.е. ориентированного по простиранию рудоносных разломов (но в противоположную, по отношению к горизонту VII, сторону) и по направлению продвижения фронта очистных работ.

Перечисленные данные свидетельствуют о сложном взаимодействии техногенных и природных факторов на локальном уровне изучения геомеханического состояния горного массива месторождения. Налицо заметное влияние особенностей погребенного рельефа и структурных факторов. Подобный сложный и неоднородный характер распределения напряжений и связь этого явления с морфологией дневного рельефа, достаточно детально изучены в горных районах [13]. На месторождении Антей необходимость учета морфологии погребенного рельефа фундамента стало понятным после обнаружения факта резкого возрастания величин напряжений на уровне основания гранитного вала. Материалы многолетних наблюдений за состоянием горных выработок на разных гори-

зонтах месторождения свидетельствуют о неустойчивом, но закономерном, изменении параметров локального поля напряжений. Закономерность выражается в том, что с глубиной направление горизонтального сжатия последовательно поворачивается по часовой стрелке (от  $30^\circ$  до  $230^\circ$ ), что хорошо согласуется с положением горизонтов горных работ в различных частях вала (закономерный рост значений азимута от вершины к подножью вала).

В заключении отметим, что анализ результатов геомеханических исследований в рамках формализованных моделей месторождений позволяет выявлять новые закономерности взаимодействия природных и техногенных систем, которые не отвергают, а существенно дополняют уже известные. Предлагаемый подход может являться важной составляющей частью принципа структурно-масштабной геомеханической оценки массивов горных пород [13], который предусматривает взаимную увязку структурных и геомеханических факторов на разных масштабных уровнях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев А.А., Федотова Ю.В., Журавлева О.Г., Звонарь А.Ю., Запорожец В.Ю. Выделение зон повышенной сейсмоопасности по комплексу прогностических критериев // Горный журнал. – 2010. – № 9. – С. 44-47.
2. Шерман С.И. Естественные триггерные механизмы нарушения метастабильного состояния разломно-блоковой среды литосферы в реальном времени // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – № 5. – С. 33-48.
3. Рассказов И.Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. – М.: Издательство «Горная книга», 2008. – 329 с.
4. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИНЭК, 2005. – 252 с.
5. Мансуров В.А. Прогнозирование разрушения горных пород, Фрунзе: Илим, 1990, 240 с.
6. Макаров Г.А., Савченко С.Н. Напряженное состояние пород и горное давление в структурах гористого рельефа. Л.: Наука, 1984. – 140 с.
7. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород – М.: Изд-во МПГУ, 2004. – 262 с.
8. Петухов И.М., Работа Э.Н., Батугина И.М. Научные основы управления толчкообразным деформированием блочного массива // Управление удароопасностью массива горных пород. – Л.: ВНИМИ, 1987. – С. 4-18.

Олонойский оловорудный район: геолого-геофизические характеристики, рудоносность, проблемы развития сырьевой базы. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2004. – 252 с.

10. *Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А.* Оценка и контроль удароопасности массива горных пород на рудниках. Владивосток: Дальнаука, 2001. 169 с.

11. *Рассказов И.Ю., Саксин Б.Г.* Влияние блочно-иерархического строения геологической среды на формирование природного и техногенного геодинамических полей в северо-западной части Амурского геоблока // Записки Горного института «Современные проблемы геодинамической безопасности при освоении месторождений

полезных ископаемых». СПб, 2010. – Т. 188. – С. 26-30.

12. *Рассказов И.Ю., Саксин Б.Г.* Особенности геодинамики и геомеханических условий месторождения, залегающего в крутопадающих разрывных структурах погребенного фундамента // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. – 4 ОВ. – С. 41-49.

13. *Айтматов И.Т., Ялымов Н.Г., Степанов В.Я.* Геомеханика массивов горноскладчатых областей // Напряженное состояние породных массивов, техногенная геодинамика недр, геоэкология горных районов: Избр. труды Айтматова И.Т. – Бишкек: Илим, 2008. – С. 143-154. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Рассказов И.Ю.* – доктор технических наук, директор Института горного дела ДВО РАН,  
*Саксин Б.А.* – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН,  
*Просекин Б.А.* – главный маркшейдер ОАО «Приаргунское производственное горнохимическое объединение», г. Краснокаменск Забайкальского края.



© *Пржедецкий Д.Б.* – представитель ГИАБ в Австралии, директор австралийской горной консалтинговой компании Rock Cognition Pty Ltd., Сидней, dmitry@rockcognition.com.au

### История 1-я **The Beaconsfield Gold Mine – путь на поверхность**

Настоящей историей мы начинаем серию публикаций о жизни и удивительных приключениях в Австралии выпускника Московского государственного горного университета – *Дмитрия Борисовича Пржедецкого*. Ему крупно повезло: он работал во многих странах мира. *Дмитрию Борисовичу* удалось участвовать в горных проектах во всех штатах и территориях Австралии без исключения. Он сталкивался с самыми разнообразными видами горных работ, среди которых были угольные разрезы и шахты; открытые разработки соли, железной руды и бокситов; золотые, никелевые, медные и цинковые рудники; предприятия по выщелачиванию урана; карьеры строительных минералов; месторождения редкоземельных, и многие другие.

Большинство этих предприятий представляют интерес для российских читателей, так как используют наиболее передовые системы безопасности производства и охраны труда, высокоэффективные системы управления, подчас уникальные методы производства работ и специализированное оборудование.

Однако цель этой серии публикаций не только дать краткое описание зарубежных технологий и условий работы австралийских горняков, но и попытаться передать чувства человека, оказавшегося в условиях, которые многие из наших читателей иначе не смогут себе представить никогда. Написано огромное количество книг о летчиках и моряках; разведчиках и следователях. В их профессиях читателей привлекает ореол героизма, находчивости и силы воли. Были книги и о шахтерах. Но на память не приходит ни одной современной книги, ни одного фильма, где попытались бы показать полную трудностей, неожиданностей и опасностей профессию горного консультанта.

Продолжение на с. 129