

## 25. СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И ПРОЦЕССЫ В ВЕРХНИХ ОБОЛОЧКАХ ТВЕРДОЙ ЗЕМЛИ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПРИРОДНЫХ ГЕОСИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ТЕХНОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

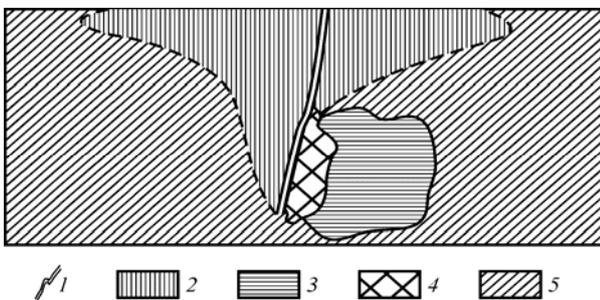
**Программа 25.1. Современная эндо- и экзогеодинамика, геофизические факторы неустойчивости геосистем и объектов, в том числе находящихся под техногенным воздействием (Координатор академик С. В. Гольдин)**

Учеными Института геофизики разработана новая концепция геодинамических процессов, происходящих в очаговой зоне землетрясения. В ее основу положены особенности поведения блочных систем при больших касательных напряжениях, связанных с переупаковкой блоков, дилатансией и возможностью квазипластического течения. На основе проведенных в ИГФ экспериментов показаны такие свойства дилатансии, как обратимость и возможность упрочнения. Установлены три способа аккомодации материала к увеличивающейся нагрузке (образование приповерхностной трещинной зоны, квазипластическое течение и упрочнение). Реализация всех трех форм аккомодации завершается образованием специфической структуры предразрушения, объясняющей ряд типичных явлений, таких как зоны затишья и реализация главного толчка на границе зон затишья и зоны активизации (рис. 1). В концепции принимается уже общепринятое представление о роли жестких участков (asperities, зацепы, барьеры) в концентрации напряжений. Показано, что конкретный сценарий поздней стадии развития землетрясения определяется соотношениями между скоростью деформации, относительным критиче-

ским уровнем напряжений и интенсивностью усталостных процессов.

На Байкальском геодинамическом полигоне (пос. Листвянка) специалистами Института земной коры и Института физики прочности и материаловедения проведен уникальный натурный эксперимент по искусственному механическому воздействию на 100-метровый участок Ангарского сейсмоактивного разлома. В результате удалось более чем в тысячу раз увеличить естественную скорость сбрососдвигового перемещения бортов разлома и относительно плавно сдвинуть их на расстояние порядка 1 м (рис. 2). Достигнутый эффект спровоцированной разгрузки накопленной в горном массиве энергии подтвердил сделанные ранее выводы о возможности управления режимами деформаций в зонах потенциально сейсмоопасных разломов. Дальнейшая разработка способов применения подобной технологии на более крупных фрагментах сейсмически опасных разломов открывает возможность осуществлять своевременную безопасную разгрузку сейсмоопасных участков земной коры, где накоплены большие объемы тектонической энергии.

По данным GPS-измерений на геодинамической сети Института геофизики получено поле смещений для временного интервала (2000—2003 гг.) перед Чуйским землетрясением (27.09.2003 г.,  $M = 7,3-7,5$ ) и после события (2003—2004 гг.) (рис. 3). Пространственное распределение скоростей горизонтальных движений до события имеет северо-западную и северо-восточную доминанты. Распределение постсейсмических смещений указывает на правостороннее сдвиговое движение по нодальной плоскости ( $130^\circ N$ ). Величина смещений убывает в направлении, ортогональном нодальной плоскости, от 300 мм (в 15 км от разрыва) до 25 мм (90 км от разрыва). Особенности поля смещений позволяют выбрать для поверхностных смещений модель упругой отдачи при землетрясении.



**Рис. 1.** Мезоструктура очаговой зоны.

1 — разлом, 2 — трещинная дилатансия, 3 — область пластического течения, 4 — область упрочнения, 5 — жесткие блоки.

**Fig. 1.** Mesostructure of focal zone.

1 — fault, 2 — crack dilatancy, 3 — zone of plastic flow, 4 — zone of hardening, 5 — rigid blocks.

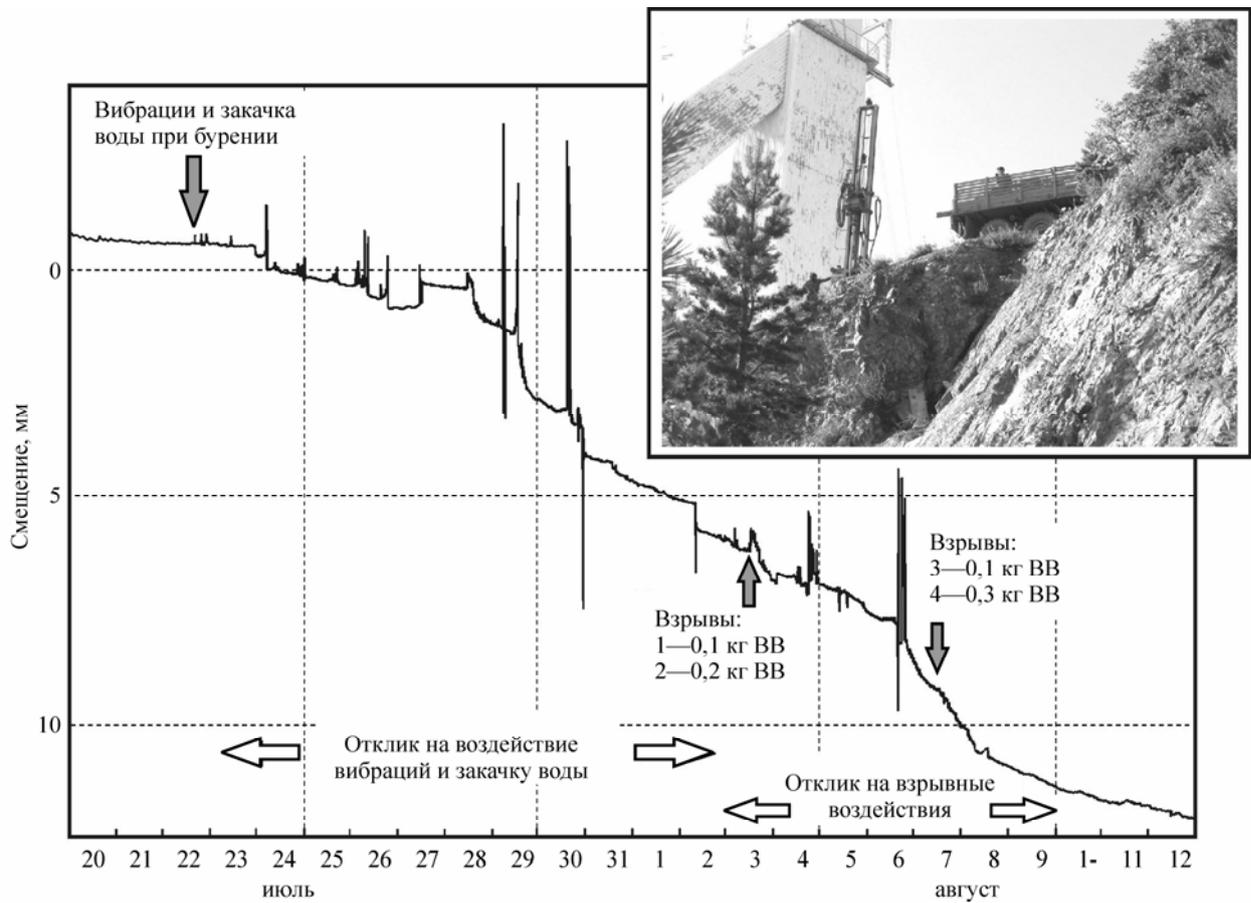


Рис. 2. График инициированных смещений в зоне разлома после закачки воды и вибровоздействий. На фотографии показано место проведения эксперимента.

Fig. 2. Chart of triggered dislocations in the fault zone after pumping water and vibration effects. The photo displays the experiment site.

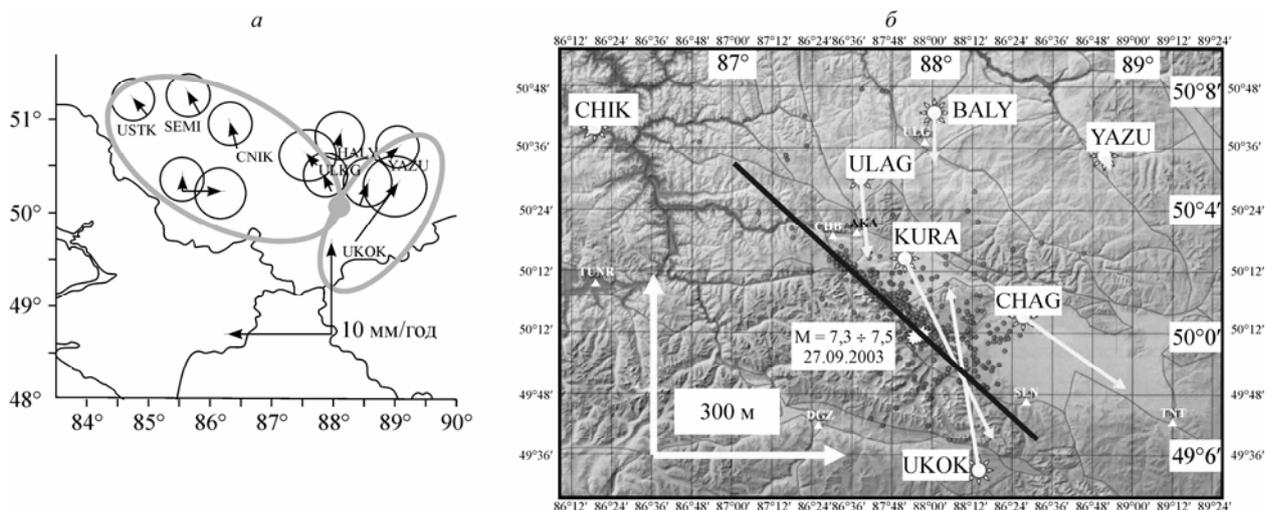
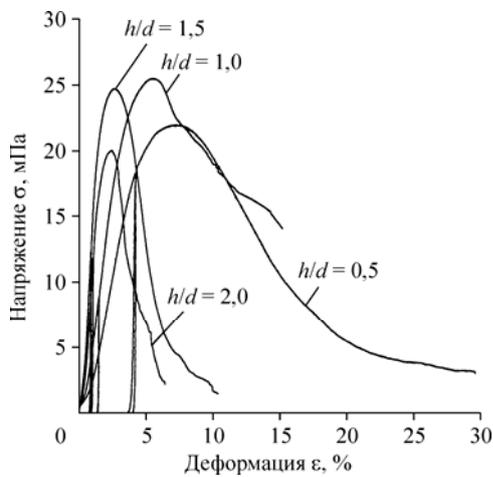


Рис. 3. Результаты обработки данных сетевых GPS-измерений по геодинамической сети Института геофизики. Поле смещений до (а) Чуйского землетрясения (2000—2003 гг.) и после (б) события (2003—2004 гг.).

Fig. 3. The GPS proceeding results on the geodynamic network of Institute of Geophysics SB RAS. The displacements field before (a) the Chuy earthquake (2000—2003) and after (б) this event (2003—2004).

**Программа 25.2. Геомеханика: процессы деформирования массивов горных пород и геоматериалов, в том числе вызванные техногенной деятельностью (Координатор член-корреспондент РАН В. Н. Опарин)**

Сотрудниками Института горного дела экспериментально установлены закономерности упругопластического деформирования песчаников и пестрых сильвинитов месторождений Северного Урала в запредельной области нагружения. В условиях жесткого режима

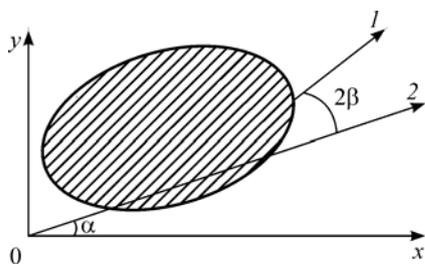


**Рис. 4.** Диаграммы деформирования образцов пестрого сильвинита в зависимости от формы образцов и заданной скорости деформации (*h* — высота, *d* — диаметр, ско-

рость деформации  $\frac{d\varepsilon}{dt} = 1,3 \cdot 10^{-4}$  отн. ед./с).

**Fig. 4.** Diagrams of deformation of variegated sylvinitic samples depending on their shape and assigned deformation velocity (*h* — height, *d* — diameter, deformation velocity

$\frac{d\varepsilon}{dt} = 1,3 \cdot 10^{-4}$  relative unit/s).



**Рис. 5.** Механическая модель упругопластического деформирования блоков массива горных пород: 1, 2 — направления скольжения блоков ромбовидной формы.

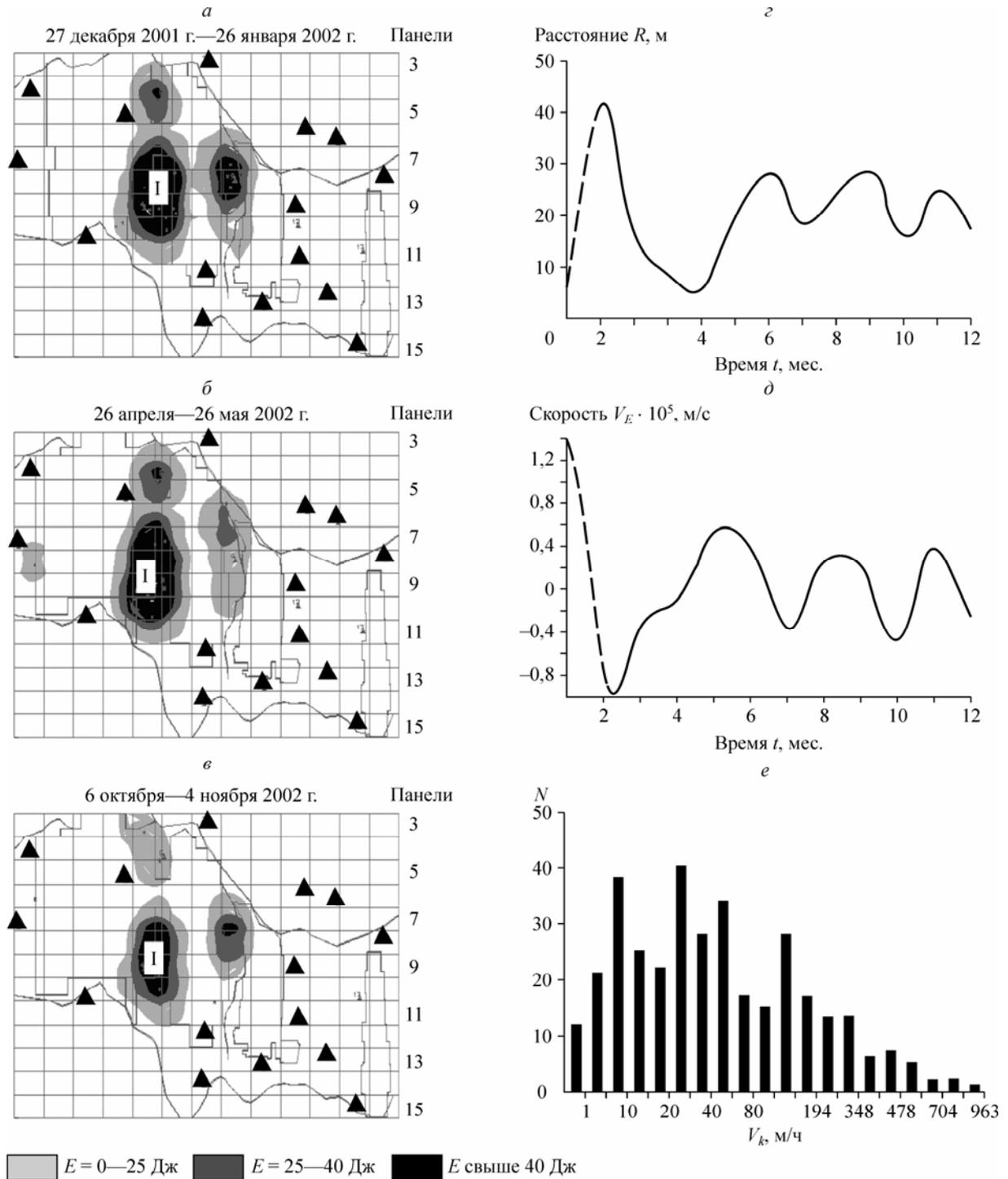
**Fig. 5.** Mechanical model of elastoplastic deformation of rock mass blocks: 1, 2 — directions of rhomb-shaped block sliding.

одноосного сжатия установлено влияние на характер деформаций формы образцов и скорости деформирования (рис. 4), что позволило впервые вывести определяющие соотношения между напряжениями и деформациями в запредельной области деформирования этих геоматериалов, построить механико-математическую модель упругого и упругопластического деформирования массива горных пород с блоками ромбовидной формы (рис. 5), в рамках которой решены задачи о напряженно-деформированном состоянии массива вокруг цилиндрической выработки.

Учеными Института горного дела обнаружен пульсирующий режим сейсмознерговыделения из напряженных участков шахтных полей в условиях больших глубин Норильского месторождения полиметаллов (рис. 6). При этом установлено, что движение фронтов индуцированной сейсмичности в пространстве вокруг очаговых зон концентрации напряжений имеет тип колеблющегося «маятника». Впервые установлена экспериментальная связь между средними скоростями: смещения подрабатываемых породных толщ  $V_c$ , приведенных центров сейсмознерговыделения  $V_E$  и миграции отдельных сейсмособытий для их упорядоченных по времени проявления последовательностей в пределах очаговых зон концентрации напряжений  $V_k$ . Это позволило предложить новые диагностические параметры удароопасности участков массивов горных пород в виде отношений  $V_c/V_k, V_E/V_k$ .

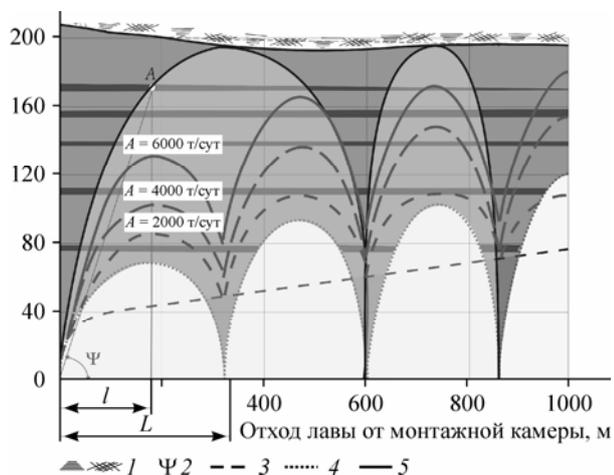
Учеными Института угля и углехимии в результате исследований аэрогазодинамических процессов на высокопроизводительных выемочных участках угольных шахт установлена связь динамики метанообильности выработанного пространства с особенностями разгрузки и сдвижений вмещающего разрабатываемый пласт массива горных пород, а метанообильности очистного забоя (рис. 7) — с изменчивостью состояния пласта под влиянием горного давления.

Разработан и апробирован в промышленности соответствующий метод расчета параметров управления газовой обстановкой на выемочном участке, обеспечивший повышение его допускаемой по газовому фактору произ-



**Рис. 6.** Пульсирующий режим сейсмоэнерговыведения из напряженных участков шахтных полей: *a–в* — фрагменты карт с зонами повышенной сейсмоактивности массива горных пород рудника «Октябрьский» в 2002 г.; *д–е* — графики измерения приведенного расстояния  $R$  и радиальной скорости смещения  $V_E$  для центров сейсмоэнерговыведения зоны I; *e* — гистограмма распределения «кажущихся» скоростей  $V_k$  сейсмособытий для их упорядоченной по времени последовательности в пределах этой зоны за этот год.

**Fig. 6.** Pulse regime of seismic energy release from stressed sections of mine fields: *a–в* — fragments of maps with zones of the increased seismic activity of rock mass in the Oktyabrsky Mine in 2002; *д–е* — graphs of measuring the reduced distance  $R$  and radial displacement velocity  $V_E$  for the centers of seismic energy release in zone I; *e* — histogram of distribution of the «apparent» seismic event velocities  $V_k$  for the time-ordered succession of seismic events within zone I in 2002.



**Рис. 7.** Результаты прогноза динамики метанообильности.

1 — дневная поверхность, 2 — угол полных сдвижений подрабатываемого массива горных пород, 3—5 — метанообильность (3 — квазистатическая, 4 — динамическая, 5 — суммарная).  $L$  — период динамической составляющей,  $l$  — расстояние до максимума динамической составляющей,  $A$  — точка пересечения границы сдвижений с верхним пластом в подрабатываемой свите.

**Fig. 7.** Forecast results of methane-bearing capacity dynamics.

1 — earth's surface, 2 — full displacements' angle of underworking rock massif, 3—5 — Methane-bearing capacity (3 — quasi-static, 4 — dynamic, 5 — total).  $L$  — period of a dynamic component,  $l$  — distance up to a maximum of a dynamic component;  $A$  — intersection point of boundary line of displacement zone with the overhead seam in underworking strata series.

водительности с 5700 т/сут до технически обеспеченной в 8000 т/сут.

Впервые научно обоснована возможность прогноза ситуаций, предшествующих внезапным выбросам газа из подрабатываемого мас-

сива в горные выработки (2004 г., Кузбасс, шахта «Тайжина»), по данным систем контроля рудничной атмосферы с компьютерным оснащением, обеспеченных соответствующей геоинформационной базой и программным средством.