

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРАКТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИБЛИЖЕНИЯ СОСТОЯНИЯ КУСКОВАТО-БЛОЧНОЙ СРЕДЫ К ТОЧКЕ БИФУРКАЦИИ ИЗ ДАННЫХ ОБ ЭВОЛЮЦИИ СЕЙСМОГЕННОЙ СТРУКТУРЫ И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Ю. Л. Ребецкий*

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

**E-mail: reb@ifz.ru*

При решении обратной задачи тектонофизики по реконструкции корового напряженного состояния из разрывных смещений (зеркала скольжения и механизмы очагов землетрясений) рассмотрены различные модификации целевых функций, базирующихся на гипотезе Уэллеса (близость смещений и касательных напряжений на разрывах). Показано, что все применяемые целевые функции имеют структуру, аналогичную диссипативной функции в классической теории пластичности с потенциалом Губера–Мизеса. Главным недостатком таких функций является существенная ошибка в определении ориентации главных напряжений при отсутствии или малом числе сколов второй сопряженной системы трещин. В этом случае оптимальной будет ориентация главных напряжений, при которой сколовые трещины близки к площадкам действия максимальных касательных напряжений.

Для модели геосреды в виде идеальной упругой с трением на разрывах кусочно-блочной системы (М. А. Садовский) предложено новое выражение для целевой функции, состоящее из разности удельной энергии упругой разгрузки и удельной работы, затрачиваемой на преодоление напряжения трения на разрывах. Максимальные значения такой целевой функции определяют положения наблюдаемых сколовых трещин с углами к максимальным главным напряжениям, отвечающими теории Кулона–Мора.

Для нового вида целевой функции условие Уэллеса, определяющее максимум энергии упругой разгрузки (теорема Гамильтона для консервативных механических систем), как и условие минимальности работы против сил трения (принцип Пригожина для диссипативных систем), в их экстремальном виде не выполняются. Требование максимума новой целевой функции определяет максимум мощности сейсмического излучения и характеризует термодинамическую оптимальность вовлечения системы разноориентированных разрывов в процесс сейсотектонического течения геосреды. Кусковато-блочная геосреда имеет разномасштабные иерархические уровни, что обеспечивает системе необходимый набор степеней свободы для перестройки внутренней структуры. Это позволяет системе эффективно адаптироваться к внешнему нагружению, формируя режим сейсотектонического течения. Данный вывод имеет фундаментальное значение для сейсмологии, т.к. переводит эмпирические наблюдения отклонения суммарного сейсмического излучения от средних значений, используемое для прогноза землетрясений, в разряд физически обоснованных критериев. Эти отклонения отражают не случайные флуктуации, а процесс самоорганизации геосреды как термодинамической системы.

Утверждение о том, что амплитуды отрицательных отклонений сейсмической диссипации от средних значений прямо определяют величины накопления в геосреде энергии упругих деформаций, является как минимум неточным, поскольку баланс энергии связан не только сейсмическим излучением, но и с диссипацией в тепло на разрывах. Практические расчеты показывают, что в большом числе случаев энергия, затрачиваемая на преодоление сил трения, может как кратно превосходить энергию сейсмического излучения из очага землетрясения, так быть кратно меньшей. Падение сейсмической активности может свидетельствовать не о накоплении напряжений, а о переходе системы к иному, несейсмическому режиму диссипации в рамках её динамической адаптации, например, к крипу, медленным, тихим и низкочастотным землетрясениям с преимущественным производством энтропии геосреды.

В ходе прогрессирующего внешнего нагружения может происходить постепенный рост производства энтропии геосреды и/или сейсмической диссипации, которые следует анализировать с позиции

нелинейной неравновесной термодинамики (принцип Циглера). Для геосреды, аппроксимируемой кусковато-блочной идеально упругой системой с трением на разрывах, могут быть сформулированы две теоремы:

1. Стационарная стадия сейсмотектонического процесса отвечает максимуму сейсмической диссипации при оптимизации стремления к выполнению принципов Гамильтона и Пригожина.

2. Неустойчивость сейсмотектонического процесса, рассматриваемая в рамках нелинейной неравновесной термодинамики и принципа Циглера, может быть выявлена из эволюционного анализа поведения системы и должна связываться с постепенным повышением производства энтропии на активных сейсмогенных разломах.

Использование выявленных закономерностей позволяет наметить пути развития теории долговременного прогноза землетрясений.

Работа выполнена по Госзаданию ИФЗ РАН.

THE POSSIBILITY OF PRACTICAL IDENTIFICATION OF THE APPROXIMATION OF THE STATE OF A LUMPY-BLOCK MEDIUM TO THE BIFURCATION POINT FROM DATA ON THE EVOLUTION OF THE SEISMOGENIC STRUCTURE AND STRESS STATE

Yu. L. Rebetskii*

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: reb@ifz.ru*

When solving the inverse tectonophysics problem of reconstructing the crustal stress state from discontinuous displacements, various modifications of target functions based on the Wallace hypothesis are considered. It is shown that all the applied objective functions have a structure similar to the dissipative function in the classical theory of plasticity with the Huber-Mises potential. The main disadvantage of such functions is a significant error in determining the orientation of the principal stresses in the absence or small number of chips of the second coupled crack system. In this case, the orientation of the principal stresses will be optimal, at which the chipped cracks are close to the sites of maximum shear stresses.

For a model of the geo-environment in the form of an ideal elastic piecewise-block system (M.A.Sadovsky), a new expression for the objective function is proposed, consisting of the difference between the specific energy of elastic unloading and the specific work expended to overcome the frictional stress at the ruptures. The maximum values of such an objective function determine the positions of the observed chipped cracks with angles to the maximum principal stresses corresponding to the Coulomb–Mohr theory.

For the new type of objective function, the Wallace condition, which determines the maximum energy of elastic unloading (Hamilton's theorem for conservative mechanical systems), as well as the condition for minimal work against friction forces (Prigogine's principle for dissipative systems), are not fulfilled in their extreme form.

Practical calculations show that in a large number of cases, the energy spent on overcoming friction forces can be either many times higher than the energy of seismic radiation from the earthquake source, or be many times lower. A drop in seismic activity may indicate not an accumulation of stresses, but a transition of the system to a different, non-seismic mode of dissipation as part of its dynamic adaptation, for example, to creep, slow, quiet and low-frequency earthquakes with a predominant production of entropy of the geomedium.

During progressive external loading, there may be a gradual increase in the production of entropy of the geomedia and/or seismic dissipation, which should be analyzed from the perspective of nonlinear nonequilibrium thermodynamics (Ziegler's principle). Two theorems can be formulated for a geo-environment approximated by a lumpy-block ideally elastic system with fracture friction:

1. The stationary stage of the seismotectonic process corresponds to the maximum of seismic dissipation while optimizing the desire to fulfill the principles of Hamilton and Prigozhin.

2. The instability of the seismotectonic process, considered in the framework of nonlinear nonequilibrium

thermodynamics and the Ziegler principle, can be identified from an evolutionary analysis of the behavior of the system and should be associated with a gradual increase in entropy production on active seismogenic faults.

The use of the revealed patterns allows us to outline the ways of developing the theory of long-term earthquake forecasting.