

## АНИЗОТРОПИЯ ПОРОУПРУГОГО ОТКЛИКА ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Д. В. Ложкин<sup>1, \*</sup>, И. А. Пантелеев<sup>1</sup>, Vladimir Lyakhovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Геологическая служба Израиля, Иерусалим, Израиль

\*E-mail: lozhkin.d@icmm.ru

Колебания порового давления, вызванные прохождением сейсмических волн, являются одним из широко наблюдаемых сейсмогидрогеодинамических эффектов. Классическая линейная пороупругая модель Био, базирующаяся на непренированном приближении, связывает изменение порового давления только с изменением среднего напряжения и объемной деформацией твердого скелета. Поэтому данный подход адекватно описывает пороупругий отклик флюидонасыщенного коллектора при прохождении продольных волн, но не позволяет описать отклик трещиноватых коллекторов на прохождение поперечных сейсмических волн. Особенность пороупругого отклика трещиноватого коллектора обусловлена структурной анизотропией его физических свойств: сдвиговые деформации на фронте сейсмической волны инициируют раскрытие микротрещин, приводя к изменению объемной деформации, что в свою очередь приводит к изменению порового давления флюида. В настоящей работе на основе модифицированного уравнения Скемптона изучаются закономерности пороупругого отклика флюидонасыщенной трещиноватой среды на прохождение поперечных сейсмических волн. Дополнительным фактором, определяющим чувствительность трещиноватой среды к внешнему сейсмическому воздействию, становится угол поляризации поперечной волны. В целом, чувствительность трещиноватого коллектора на прохождение сейсмических волн и, как следствие, выраженность сейсмогидродинамического эффекта определяется взаимной ориентацией вектора прихода волны (задается азимутом и углом погружения), направлением сдвига в волне (задается углом поляризации) и ориентацией трещиноватости. В результате проведенных исследований определены условия для реализации максимального и нулевого пороупругого отклика коллектора.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в расширении диагностического потенциала сейсмогидродинамического мониторинга в сейсмоактивных районах. Совместный анализ параметров волнового поля и вариаций давления в измерительных скважинах позволяет также реконструировать ориентировку трещиноватости и оценивать степень нарушенности коллектора.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда  
(проект № НФ 26-97-20006).*

## ANISOTROPY OF THE POROELASTIC RESPONSE OF FRACTURED RESERVOIRS UNDER THE INFLUENCE OF TRANSVERSE SEISMIC WAVES

D. V. Lozhkin<sup>1, \*</sup>, I. A. Panteleev<sup>1</sup>, V. Lyakhovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

<sup>2</sup>Geological Survey of Israel, Jerusalem, Israel

\*E-mail: lozhkin.d@icmm.ru

Fluctuations in pore pressure caused by the passage of seismic waves are one of the most commonly observed seismo-hydro-geodynamic effects. The classical linear pore-elastic model of Biot, based on the undrained approximation, relates changes in pore pressure solely to changes in average stress and volumetric deformation of the solid skeleton. Therefore, this approach adequately describes the pore-elastic response of a fluid-saturated reservoir to the passage of longitudinal waves, but does not allow for the description of the response of fractured reservoirs to the passage of transverse seismic waves. The peculiarity of the pore-elastic response of a fractured reservoir is due to the structural anisotropy of its physical properties:

shear deformations at the seismic wave front initiate the opening of microfractures, leading to a change in volumetric deformation, which in turn leads to a change in the pore fluid pressure. In this work, based on the modified Skempton equation, the patterns of the pore-elastic response of a fluid-saturated fractured medium to the passage of transverse seismic waves are investigated. An additional factor determining the sensitivity of a fractured medium to external seismic excitation is the polarization angle of the transverse wave. In general, the sensitivity of a fractured reservoir to the passage of seismic waves and, consequently, the intensity of the seismohydrodynamic effect is determined by the mutual orientation of the wave arrival vector (defined by the azimuth and angle of incidence), the direction of shear in the wave (defined by the polarization angle), and the orientation of the fracturing. As a result of the studies, conditions for the realization of maximum and zero pore-elastic response of the reservoir have been determined.

The practical significance of the studies lies in expanding the diagnostic potential of seismo-hydrodynamic monitoring in seismically active regions. A joint analysis of wave field parameters and pressure variations in monitoring wells also allows for the reconstruction of fracture orientation and the assessment of the degree of reservoir disturbance.