

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ И РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. О. Михайлов¹ *, А. А. Барях² **, Н. А. Самоделкина², И. П. Бабаянц¹, Е. П. Тимошкина¹

¹Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

²Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия,

*E-mail: mikh@ifz.ru

**E-mail: bar@mi-perm.ru

На примере Верхнекамского месторождения солей показана возможность использования данных радарной интерферометрии для оценки и прогноза изменения напряженно-деформированного состояния подработанного породного массива. Объектом исследований являлся Первый Березниковский калийный рудник, затопленный в 2006 г. в результате аварийного прорыва пресных вод в горные выработки. Вследствие высокой растворимости соляных пород в пределах шахтного поля до сих пор сохраняются достаточно высокие скорости оседания земной поверхности, которые контролируются геодезическими методами по заложенным профильным линиям и площадной радарной съемкой спутником TerraSAR-X с периодом 11 дней по снимкам с 2020 по 2024 годы за бесснежный период, который в Пермском крае обычно длится с конца апреля до середины октября. Смещения рассчитывались по последовательным парам снимков, а затем суммировались. Также к полной серии применялась технология точечных отражателей ИРТА, реализованная в программном пакете GAMMA. Спутниковые данные показывают, что оседания земной поверхности в г. Березники в основном происходят в юго-западной части города и в расположенных южнее поселках. Также относительно новая область оседаний выявлена восточнее города, в районе пос. Суханово. На карте средних скоростей оседаний выделяется мульда сдвижения в западной части города, простирающаяся в субмеридиональном направлении. Южнее ее пересекает вторая мульда, широтного простирания, которая простирается до пос. Суханово.

Геомеханическая интерпретация данных радарной интерферометрии основывалась на трехмерном математическом моделировании процесса деформирования подработанного массива. Расчетная схема отражала весь комплекс горно-геологических и горнотехнических условий отработки, а также группу факторов, связанных с прорывом пресных вод в горные выработки. Численные расчеты базировались на полуаналитической схеме метода конечных элементов. В рамках разработанной модификации метода переменных модулей деформаций данные радарной интерферометрии являлись элементом параметрического обеспечения геомеханической модели, определяющей деформирование подработанного массива во времени.

ROCK MASS CONDITION ASSESSMENT USING INSAR AND NUMERICAL MODELING

V. O. Mikhailov¹ *, A. A. Baryakh² **, N. A. Samodelkina², I. P. Babayants¹, E. P. Timoshkina¹

¹Schmidt institute of physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Mining Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

*E-mail: mikh@ifz.ru

**E-mail: bar@mi-perm.ru

The applicability of InSAR technique in stress–strain assessment and alteration prediction in rock mass is illustrated as a case-study of the Upper Kama Salt Deposit. The object of research is Berezniki Mine-1 flooded in 2006 after an accidental freshwater inrush. Because of high solubility of salt rocks, velocity of ground subsidence is yet very high within the mine field. Subsidence monitoring is carried out here using benchmark surveying along existing profile lines and TerraSAR-X-base radar survey with a time-interval of 11 days. We used SAR images from 2002 to 2024 for the snow-free period, which in the Perm region typically lasts from late April to mid-October. Displacements were calculated from successive pairs of images and then summed.

IPTA point reflector technology, implemented in the GAMMA software package, was also applied to the full series. Satellite data show that ground subsidence in Berezniki is primarily occurring in the southwestern part of the city and in the villages located to the south. A relatively new area of subsidence has also been identified east of the city, near Sukhanovo village. The map of average subsidence rates reveals a trough of displacement in the western part of the city, extending in a submeridional direction. Further south, it is intersected by a second trough, oriented east-west, which extends to Sukhanovo village.

The InSAR data were interpreted using 3D mathematical modeling of deformation process in undermined rock mass. The computational model displayed a whole set of geological and geotechnical conditions, and a group of factors associated with the freshwater inrush. The numerical calculations used the semi-analytical finite element method. Within the framework of the developed modification of the method for variable-module deformations, InSAR data were a part of the parametric content of the geomechanical model determining deformation of undermined rock mass in time.