

РАЗВИТИЕ ТЕХНОГЕННО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В КУЗБАССЕ**В.В. Адушкин***Институт динамики геосфер РАН, 119334, Москва, Ленинский просп., 38, корп. 1, Россия*

Представлен анализ развития современной сейсмической обстановки на территории Кузнецкого угольного бассейна, которая характеризуется ростом различных форм техногенно-наведенной сейсмичности, появляющейся под воздействием длительных и интенсивных горно-взрывных работ. По мере развития техногенеза заметный рост техногенной сейсмичности в Кузбассе начался примерно в 70-80-е годы прошлого столетия, когда их количество стало превышать число природных землетрясений. Среди различных форм наведенной сейсмичности особое внимание в работе уделено сильным тектоническим землетрясениям техногенного происхождения, характеризующимся величиной региональной магнитуды $M_b \geq 3$ и, соответственно, выделением сейсмической энергии свыше 10^9 Дж, т. е. энергетического класса $K > 9$, которые будучи мелкофокусными сопровождаются зачастую разрушениями подземных выработок, обрушениями бортов карьеров и разрезов, повреждениями наземных сооружений и оборудования и другими негативными последствиями. Подобные землетрясения определены в данной работе как техногенно-тектонические, подчеркивая тем самым двойственную природу их происхождения – наличие техногенных воздействий и последующая релаксация образовавшихся очагов тектонических напряжений. Отмечено также, что недра Кузбасса изначально характеризовались собственной природной сейсмичностью и развитой системой тектонических разломов. В результате сочетания природной сеймотектонической активности, постоянно возрастающих объемов горных работ и потребления взрывчатых веществ (ВВ) наблюдается увеличение потоков техногенных сейсмических событий и рост их интенсивности. Ярким примером такого события явилось Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г. с региональной магнитудой $M_b = 5.8$ и интенсивностью сейсмических колебаний 7 баллов в эпицентральной зоне, ставшее крупнейшим в мире техногенным землетрясением при добыче твердых полезных ископаемых. В работе изложены возможные причины образования этого катастрофического землетрясения. Обсуждаются также условия образования очагов подобных техногенно-тектонических землетрясений, возникающих в результате изменений геодинамического и гидрогеологического режимов в земной коре под воздействием внешней техногенной нагрузки. Эти вынужденные изменения природных процессов сопровождаются соответствующей перестройкой напряженно-деформированного состояния, в результате которой на неоднородностях и в разломных зонах возникают очаги концентрации тектонических напряжений, становясь источниками техногенно-наведенной сейсмичности.

В работе обсуждается современный период возникновения и роста подобной техногенной сейсмичности на территории Кузбасса, который развивается в условиях увеличения масштабов добычи каменного угля и горно-взрывных работ. Так, потребление ВВ на предприятиях Кузбасса за последние 20 лет возросло от 100—200 до 500—600 тыс. т/год, и, соответственно, выросли объемы разрушенной и перемещаемой горной породы от нескольких млн т/год до млрд т/год, что нарушало динамическое равновесие в недрах земной коры и изменяло существующее поле тектонических напряжений. Более того, непрерывный рост потребления ВВ также дополнительно увеличивал техногенное воздействие на структуры земной коры. По расположению эпицентров крупномасштабных массовых взрывов, создающих сейсмические события с региональными магнитудами в диапазоне $M_b = 3.0—4.5$, на территории Кузбасса выделены регионы с наибольшей величиной техногенной нагрузки. Проведено разделение сейсмических событий указанного диапазона магнитуд на дневные и ночные по данным сейсмологического каталога ISC. Ночные события на основании запрета проведения взрывных работ в ночное время отнесены к категории техногенно-тектонических землетрясений (критерий «ночные события»). Была определена также величина максимальной магнитуды сейсмического события, создаваемого взрывными работами в условиях Кузбасса, которая составила величину $M_b \leq 4.4$. На основании критерия «ночные события» установлено ежегодное число техногенно-тектонических землетрясений в диапазонах магнитуд $3.0 \leq M_b \leq 3.4$; $3.5 \leq M_b \leq 3.9$; $4.0 \leq M_b \leq 4.4$ и $M_b \geq 4.5$. По расположению эпицентров техногенно-тектонических землетрясений выделены регионы их возникновения.

*Техногенез, сейсмичность, техногенное землетрясение, магнитуда.***TECHNOGENIC TECTONIC SEISMICITY IN KUZBASS****V.V. Adushkin**

This paper presents an analysis of the development of the current seismic state of the Kuznetsk coal basin, which is characterized by an increase in technogenic seismicity of different types under the influence of prolonged intensive mining operations. The development of technogenesis led to a significant increase in technogenic seismicity in the Kuznetsk Basin in the 1970–1980s, when the number of technogenic earthquakes began

to exceed the number of natural earthquakes. Among the various types of induced seismicity, special attention is paid to strong technogenic tectonic earthquakes with a regional magnitude $M_b \geq 3$ and, accordingly, a seismic energy release of more than 10^9 J, i.e., earthquakes of energy class $K > 9$. These small-focus earthquakes are often accompanied by destruction of underground mines, collapse of quarries and pits, damage to surface facilities and equipment, and other adverse effects. In this paper, such earthquakes are defined as technogenic tectonic to emphasize their dual origin: technogenic impacts and the subsequent relaxation of tectonic stresses. It is also noted that the Earth's interior in Kuzbass initially had its own natural seismicity and a developed system of tectonic faults. Natural seismotectonic activity combined with constantly increasing scales of mining and explosive consumption has led to an increase in the number of technogenic seismic events and their intensity. A striking example of such an event was the 18 June, 2013 Bachat earthquake with a regional magnitude $M_b = 5.8$ and a seismic intensity of 7 in the epicentral zone. It was the world's largest man-made earthquake induced by the mining of solid minerals. We consider the possible causes of this catastrophic earthquake and discuss the conditions favoring the formation of foci of such technogenic tectonic earthquakes resulting from changes in the geodynamic and hydrogeological conditions in the Earth's crust under man-caused impacts. These induced changes in natural processes are accompanied by a change in the stress-strain state, resulting in the concentration of tectonic stresses at heterogeneities and in fault zones, which become sources of induced technogenic seismicity.

The paper discusses the current period of the occurrence and increase in such anthropogenic seismicity in the Kuzbass region with increasing scales of coal mining and blasting. Over the last 20 years, the consumption of explosives at Kuzbass enterprises increased from 100–200 to 500–600 thousand tons per year, and, accordingly, the amounts of broken and transported rock increased from several million tons per year to a billion tons per year, which disturbed the dynamic equilibrium in the Earth's crust and changed the existing field of tectonic stresses. Moreover, the continuously increasing consumption of explosives has also increased the technogenic impact on the crust structures. The location of the epicenters of large-scale blasts inducing seismic events with regional magnitudes $M_b = 3.0$ –4.5 has made it possible to identify regions with the greatest technogenic impact in Kuzbass. Using the data of the ISC seismological catalog, we separated seismic events with the above magnitudes into day and night ones. Since blasting work is forbidden at night, night seismic events are referred to as technogenic tectonic earthquakes (night event criterion). The maximum magnitude of seismic events induced by blasting operations in the Kuznetsk Basin was estimated at $M_b \leq 4.4$. The annual number of technogenic tectonic earthquakes with $3.0 \leq M_b \leq 3.4$, $3.5 \leq M_b \leq 3.9$, $4.0 \leq M_b \leq 4.4$, and $M_b \geq 4.5$ was determined based on the night event criterion. The regions of their occurrence were identified from the location of the epicenters of technogenic tectonic earthquakes.

Technogenesis, seismicity, technogenic earthquake, magnitude

ВВЕДЕНИЕ

Техногенная сейсмичность является неизбежным следствием техногенеза, развивающегося в окружающей среде, в частности, в той ее жизненно важной сфере, которая связана с ростом объемов и глубины добычи полезных ископаемых из недр Земли, а также эволюцией энергообразующих отраслей промышленности и освоением подземного пространства. Среди различных форм техногенной сейсмичности выделяются своими катастрофическими последствиями наведенные сильные землетрясения триггерного происхождения, характеризующиеся региональной магнитудой $M_b \geq 3.0$ (энергетический класс $K > 9$) и излучаемой сейсмической энергией на уровне $E > 10^9$ Дж. Очаги таких землетрясений формируются в тектонически напряженных, неоднородных и блочных структурах земной коры под воздействием внешних техногенных нагрузок, нарушающих существующее динамическое равновесие, приводя к перестройке напряженно-деформированного состояния и образованию зон концентрации напряжений. Подобные землетрясения, обладая, может быть, не очень высокой магнитудой по сравнению с природными катастрофическими землетрясениями, опасны тем, что их очаги расположены в приповерхностных слоях земной коры и образуют сейсмические колебания высокой балльности.

В более ранних работах автор определил такие землетрясения, как техногенно-тектонические [Адушкин, 2015, 2016], подчеркнув тем самым двойственную природу их происхождения – наличие техногенного воздействия и последующая релаксация очага тектонических напряжений. Возникновение техногенно-тектонических землетрясений в случае горных работ происходит под воздействием на породный массив всего комплекса буровзрывных работ, включая разрушение, извлечение и перемещение значительных объемов горной породы и потоков сейсмической (кинетической) энергии, создаваемых массовыми взрывами. Эти динамические воздействия порождают вибрационно-колебательные движения и относительные смещения блоковых структур земной коры, а также необратимые деформации по контактам и зонам разломов, приводя к концентрации на них тектонических напряжений как очагов землетрясений, сейсмическая энергия которых может превышать энергию массовых взрывов. Таким образом, техногенно-тектонические землетрясения отличаются от природных тем, что образование их очагов происходит в результате вынужденной техногенными воздействиями перестройки геодинамического режима и поля тектонического напряженного состояния, существующего в структурах