

УДК 550.34:502/504  
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-393–413

## Анализ пространственных закономерностей воздействий промышленных взрывов на эколого-геологические системы горнодобывающих районов

<sup>1</sup>Косинова И.И., <sup>1,2</sup>Надежка Л.И., <sup>3</sup>Лисецкий Ф.Н., <sup>1,2</sup>Бударина В.А.,  
<sup>1,2</sup>Семенов А.Е., <sup>4</sup>Павловский А.И.

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет,  
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1,

<sup>2</sup>Единая геофизическая служба РАН,  
Россия, 249035, г. Обнинск, пр. Ленина, 189,

<sup>3</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,

<sup>4</sup>Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Белоруссия,  
Беларусь, 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104,

E-mail: kosinova777@yandex.ru, nadezhka\_ssm@geophys.vsu.ru, liset@bsu.edu.ru,  
budarinav@yandex.ru, alexander.semenow@gmail.com, aipavlovsky@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время техногенные воздействия на среду обитания человека в значительной мере определяют степень ее комфортности. Горнодобывающая деятельность оказывает многопрофильное и интенсивное воздействие на компоненты окружающей природной среды. В связи с недостаточной изученностью данных процессов авторами проведен анализ временных и пространственных закономерностей воздействий промышленных взрывов на эколого-геологические системы горнодобывающих районов, дана характеристика сейсмических событий, возникающих при взрывах. Показано, что наблюдаемое увеличение интенсивности фоновых микросейсмических колебаний, изменение их спектрального состава под воздействием промышленных взрывов, а также регулярность проведения взрывов в разных карьерах оказывают значительное влияние на степень комфортности среды обитания и здоровье человека. Впервые выявлены радиусы формирования дискомфортной среды обитания в горнодобывающих районах, которые составляют 3000 м; нарушение устойчивости инженерных сооружений фиксируется на расстоянии до 50 км от источника; явления наведенной сейсмичности формируются в радиусе до 200 км от места проведения промышленных взрывов. Полученные результаты могут быть использованы в практике инженерного, строительного, селитебного и иных видов освоения территорий.

**Ключевые слова:** карьеры, промышленные взрывы, сейсмические воздействия, интенсивность, спектральный состав, среда обитания, здоровье человека.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 20-55-00010/20 и БРФФИ № Х20Р-284 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

**Для цитирования:** Косинова И.И., Надежка Л.И., Лисецкий Ф.Н., Бударина В.А., Семенов А.Е., Павловский А.И. 2021. Анализ пространственных закономерностей воздействий промышленных взрывов на эколого-геологические системы горнодобывающих районов. Региональные геосистемы, 45(3): 393–413. DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-393–413

## Analysis of spatial regulations of impact of industrial explosions on ecological and geological systems of mining areas

<sup>1</sup>Irina I. Kosinova, <sup>1,2</sup>Lyudmila I. Nadezhka, <sup>3</sup>Fedor N. Lisetskii, <sup>1,2</sup>Victoria A. Budarina,  
<sup>1,2</sup>Alexander E. Semenov, <sup>4</sup>Alexander I. Pavlovsky

<sup>1</sup>Voronezh State University,

<sup>1</sup>Universitetskaya Sq., Voronezh, 394018, Russia,

<sup>2</sup>Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences,

189 Lenin Ave., Odninsk, 249035, Russia

<sup>3</sup>Belgorod National Research University,

85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia,

<sup>4</sup>Frantsk Skaryna Gomel State University

104 Sovetskaya St, Gomel, 246019, Belarus

E-mail: kosinova777@yandex.ru, nadezhka\_ssm@geophys.vsu.ru, liset@bsu.edu.ru,

budarinav@yandex.ru, alexander.semenov@gmail.com, aipavlovsky@mail.ru

**Abstract.** Currently, man-made impacts on the human environment largely determine the degree of its comfort. Mining activities have a multidisciplinary and intensive impact on the components of the natural environment, especially in the open-pit mining process. At the same time, seismic impacts are a significant geoecological factor affecting the human environment. Within the Central Chernozem Economic Region (TSCHERD) of Russia, there are currently more than 20 industrial quarries in which ore and non-metallic minerals are extracted. The total amount of explosive used during a single industrial explosion varies in different quarries (from 5 to 2500 tons). Every year there are 350–400 or more explosions, and the released flow of seismic energy is  $10^{10}$ – $10^{12}$  Joules. The article presents the results of the analysis of the temporal and spatial patterns of the impacts of industrial explosions on the ecological and geological systems of mining areas, describes the seismic events that occur during explosions, their intensity, spectral composition, and radius of their impact on the surrounding areas, habitat, and human health. It is shown that the observed increase in the intensity of background microseismic oscillations, changes in their spectral composition under the influence of industrial explosions, as well as the regularity of explosions in different quarries – all this has a significant impact on the degree of comfort of the environment and human health. The radii of the formation of an uncomfortable habitat are 3000 m; the violation of the stability of engineering structures is recorded at a distance of up to 50 km from the source; the phenomena of induced seismicity are formed within a radius of up to 200 km from the site of industrial explosions.

**Keywords:** quarries, industrial explosions, seismic impacts, intensity, spectral composition, habitat, human health.

**Acknowledgments:** This work was supported by grants RFBR No. 20-55-00010 / 20 and BRFBR No. X20R-284 "Regularities of transformation of ecological functions of geospheres in large mining regions".

**For citation:** Kosinova I.I., Nadezhka L.I., Lisetskii F.N., Budarina V.A., Semenov A.E., Pavlovsky A.I. 2021. Analysis of spatial regulations of impact of industrial explosions on ecological and geological systems of mining areas. Regional Geosystems, 45 (3): 393–413 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-393–413

### Введение

Центрально-Черноземный экономический регион является одним из наиболее развитых российских регионов. В экономическом плане он отличается широким спектром практическо-хозяйственной деятельности – от аграрной до промышленной и энергетической. Также в пределах ЦЧЭР активно осуществляется горнодобывающая и перерабатывающая деятельность, оценка влияния которых в различных аспектах проанализирована как в отечественных работах [Адушкин, Спивак, 1994; Адушкин, 1996; Спунгин, Перник, 1998; Кишкина, Спивак,

1999; Адушкин и др., 2000; Кишкина, 2000; Репина, Косинова, 2010; Адушкин и др. 2011; Семенов и др., 2011; Адушкин 2013; Адушкин, Маловичко, 2013; Полухин, Комащенко, 2014; Гриб и др., 2015; Косинова, 2015; Петин, Игнатенко, 2016; Еманов и др. 2019; Семенов и др., 2020; Тюпин, Хаустов, 2021], так и в работах зарубежных авторов [Kondela, Pandula, 2012; Gheorghiosu et al., 2015; Adushkin, 2018; Feher et al., 2021].

На территории промышленно развитого, изобилующего объектами повышенной опасности (Курская и Нововоронежская АЭС, Россошанский химкомбинат, объекты специального назначения, трубопроводы разного назначения и др.), густо заселенного Центрально-Черноземного экономического района (ЦЧЭР) производится добыча полезных ископаемых открытым способом в более чем 20 карьерах [Репина, Косинова, 2010; Семенов и др., 2011; Адушкин, Маловичко, 2013; Семенов и др., 2020]. Рис. 1 демонстрирует местоположение основных карьеров в пределах ЦЧЭР.

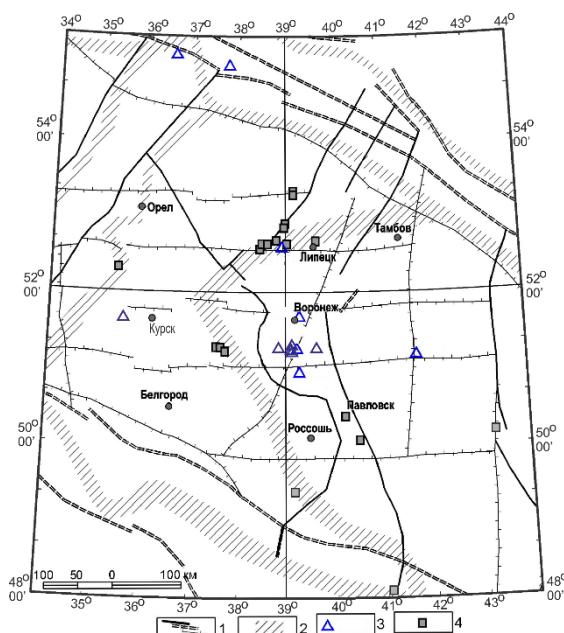


Рис. 1. Пространственное положение промышленных карьеров, в которых производятся наиболее мощные взрывы. Обозначения: 1 – тектонические нарушения разных рангов; 2 – зоны сочленения геологических блоков; 3 – пункты сейсмологического наблюдения региональной сети; 4 – промышленные карьеры

Fig. 1. The spatial position of the industrial quarries where the most powerful explosions are produced. Designations: 1 – tectonic disturbances of different ranks; 2 – zones of articulation of geological blocks; 3 – points of seismological observation of the regional network; 4 – industrial quarries

Анализ специфики данной деятельности, а также учет ее экологических последствий позволил выделить два типа горнодобывающих регионов, отличающихся характером добываемого сырья и экологическими последствиями его отработки. Первый тип, объединивший комплексную добычу рудного и нерудного сырья, характерен для Белгородской и Курской областей. Второй тип горнодобывающих районов характеризуется добычей и переработкой нерудного сырья.

При разработке месторождений происходит целый ряд негативных явлений, таких как нарушение природных гидрогеологических режимов подземных вод вследствие образования депрессионных воронок вокруг карьеров, значительное загрязнение почв, подземных и поверхностных вод. Возникающие при взрывах газопылевые облака существенно влияют на атмосферу, кроме того, крупные взрывы могут нарушать природный ландшафт, способствуя образованию обвалов, оползней и других негативных явлений [Косинова, 2015].

нова, 2015; Семенов и др., 2020]. К сожалению, в настоящее время все еще считается необязательным при проектировании новых объектов в сейсмически неактивных регионах производить учет внешних вибросейсмических воздействий.

В этой связи целью настоящей работы является анализ временных и пространственных закономерностей воздействий промышленных взрывов на эколого-геологические системы горнодобывающих районов. Для достижения поставленной цели решался комплекс задач:

- анализ качественных и количественных характеристик промышленных взрывов, проводимых в настоящее время в пределах Центрально-Черноземного экономического региона;

- характеристика деформаций фоновых характеристик в результате сейсмического воздействия в процессе проведения разномасштабных промышленных взрывов;

- выявление пространственно-временных закономерностей преобразования сейсмического поля в пределах горнодобывающих районов;

- оценка слияния преобразования сейсмических характеристик поля на абиотические и биотические компоненты эколого-геологических систем.

Суммарное количество взрывчатого вещества (ВВ), используемого во время одного промышленного взрыва в карьерах, колеблется от 5 т до 2500 т. В карьерах Липецкой области, в которых добывается доломит и известняк в осадочном чехле, количество ВВ при производстве одного промышленного взрыва не превышает 50 т, в карьерах Воронежской области (карьера «Павловский», «Тихий Дон») при добыче гранитного щебня количество ВВ при производстве одного промышленного взрыва составляет 100–300 т и более. Наиболее мощные (до 2500 т) взрывы производятся в карьерах, расположенных в Курско-Белгородском регионе («Железногорский», «Лебединский», «Стойленский»).

Ежегодно регистрируется 350–400 и более промышленных взрывов. При этом суммарный поток сейсмической энергии, который выделяется при добыче полезных ископаемых открытым способом в карьерах, ежегодно составляет  $10^{10}$ – $10^{12}$  Дж с учетом, что сейсмическая энергия составляет только 2 % от полной энергии взрыва [Адушкин, Маловичко, 2013]. По суммарному потоку сейсмической энергии за год, выделившейся при производстве промышленных взрывов, ЦЧЭР занимает второе место в Европейской части России после Уральского экономического региона [Адушкин, 2013; Адушкин, Маловичко, 2013; Семенов и др., 2020].

Весьма значительный поток сейсмической энергии, распространяясь в неоднородной и нелинейной геологической среде от дневной поверхности до подошвы земной коры и глубже, накапливается на неоднородностях (зонах тектонических нарушений, зонах повышенной трещиноватости, границах блоков), создавая остаточные деформации [Адушкин, 1996; Адушкин и др., 2011; Адушкин, Маловичко, 2013]. Динамические воздействия с амплитудой, превышающей микросейсмический фон, приводят к возникновению остаточных деформаций, особенно если блок земной коры, геологический объект находится в квазистатическом напряжении [Адушкин и др., 2011, Надежка и др., 2019]. При однократном воздействии остаточные деформации могут быть незначительными, но при регулярном воздействии может развиваться эффект накопления малых возмущений на неоднородностях геологической среды, что приводит к эффекту насыщения и дальнейшей разрядки напряжений в виде землетрясений (эффект наведенной сейсмичности). Это одно из очень важных последствий сейсмических воздействий массовых взрывов на литосферу [Ананын, 1988; Адушкин, Спивак, 1994; Адушкин, 2013]. Кроме того, возникающие при взрывах колебания (вибрации) в широком диапазоне частот (от долей Гц до 100 Гц и более) значительной интенсивности (от долей мкм/с до 1000 мкм/с и более) распространяются на значительные расстояния, существенно влияя на эколого-геологические системы.

Важным параметром при оценке динамических характеристик зданий, сооружений и других объектов жизнеобеспечения являются фундаментальные частоты колебаний грунтов. Под воздействием взрывов интенсивность микросейсмических колебаний увеличивается в зависимости от расстояния до источника, на 1–3 порядка и более в диапазоне частот от 0,2 Гц до 20 Гц. Известно, что значительная часть зданий и сооружений имеют собственные частоты в этом же диапазоне частот. В результате этого могут возникать резонансные явления, приводящие к преждевременному разрушению зданий, сооружений, нарушению целостности коммуникаций.

К сожалению, в настоящее время нормативные документы, которые регламентировали бы правила и обосновывали бы методику исследования влияния внешних вибрационных воздействий, вызванных промышленными взрывами при инженерных изысканиях, отсутствуют.

ЦЧЭР является районом с развитой инфраструктурой, высокой плотностью населения и наличием на его территории особо экологически ответственных объектов (АЭС, Россосанский химкомбинат и др.). С учетом того факта, что большая часть территории характеризуется на картах общего сейсмического районирования (ОСР-97-С, ОСР2015-С) фоновой сейсмичностью 6 баллов, проблема исследования вибросейсмических воздействий, вызванных многочисленными карьерными взрывами на эколого-геологические системы, является чрезвычайно важной и актуальной.

Особо важным является то обстоятельство, что увеличение интенсивности фоновых микросейсмических колебаний и изменение их спектрального состава в результате воздействий промышленных взрывов отрицательно сказывается не только на среде обитания, но и на здоровье человека. Фоновые сейсмические колебания, усиленные техногенным воздействием, способствуют появлению запредельных и вредных для человека вибраций, а регулярные воздействия способствуют накоплению негативных явлений в организме человека.

Из сказанного выше, очевидно, что проблема воздействия промышленных взрывов на литосферу, среду обитания и здоровье человека является многоплановой.

### Методы исследования

Предлагаемый ниже анализ базируется на результатах сейсмологического мониторинга, выполняемого на территории ЦЧЭР Воронежским государственным университетом и Федеральным исследовательским центром «Единая геофизическая служба РАН» в течение 25 лет сетью сейсмических станций. Сейсмическая сеть включает 17 стационарных сейсмических станций, которые оснащены регистраторами «UGRA» и двумя типами сейсмометров: СМ3-КВ и СМ3-ОС. Регистрируются колебания скорости движения частиц грунта при производстве взрывов – сейсмические события в диапазоне частот 0,2–20,0 Гц. За период наблюдений зарегистрировано более 9000 сейсмических событий, возникающих при проведении взрывных работ в карьерах по добыче полезных ископаемых. В пяти промышленных карьерах («Железногорский» в Курской области; «Лебединский», «Стойленский» Белгородской области, «Павловский» и «Тихий Дон» в Воронежской области) добываются железная руда и гранитный щебень. Суммарное количество ВВ при массовых взрывах в этих карьерах колеблется от 100 т до 2500 т [Адушкин, 2013; Адушкин, Маловичко, 2013; Семенов и др., 2020]. При производстве взрывов возникают сейсмические колебания в широком диапазоне частот (от долей Гц до 100 Гц и более) значительной амплитуды (от долей мкм/с до 1000 мкм/с и более). При мощных взрывах в крупных карьерах ЦЧЭР возникают сейсмические события, максимальная локальная магнитуда которых составляет 3,6 [Адушкин, Маловичко, 2013], что соответствует 5–6 балльным землетрясениям. В карьерах Липецкой области добывается доломит и известняк. Максимальное количество ВВ при массовых взрывах в этих карьерах не превосходит 50 т. Возникающие

при производстве этих взрывов сейсмические события не столь интенсивные, однако частота производства их оказывает негативное влияние на состояние геологической среды [Репина, Косинова, 2010; Семенов и др., 2011; Семенов и др., 2020].

Анализ временной динамики проведения взрывных работ в течение 10 лет показал, что они проводятся в пределах Центрально-Черноземного экономического района во все дни недели, включая и выходные. На рис. 2 в качестве примера представлено распределение количества взрывов по дням недели в 2018–2019 гг.

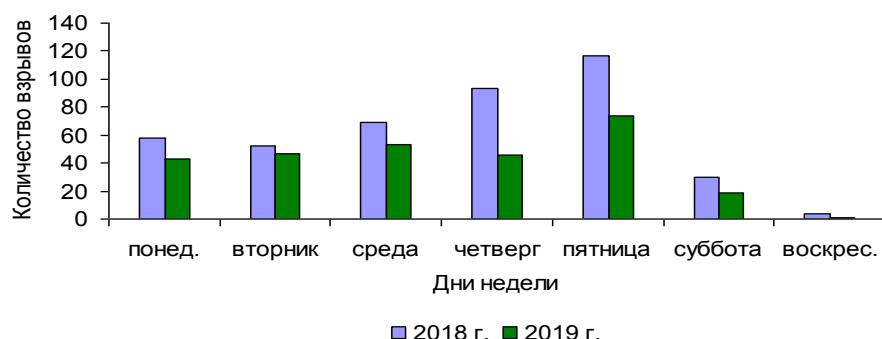


Рис. 2. Усредненная за год частота проведения промышленных взрывов в карьерах ЦЧЭР  
 Fig. 2. Annual average frequency of industrial explosions in quarries in the CCER

Как свидетельствуют данные за 10 лет, наиболее часто взрывы производятся в четверг–пятницу. Минимальное количество взрывов производится в субботу, единичные – в воскресенье. Безусловно, в разные годы абсолютное количество взрывов в разные дни недели колеблется, но указанная общая тенденция сохраняется.

На рис. 3 представлена диаграмма изменения ежемесячного производства взрывов в течение 10 лет – с 2011 по 2020 гг.

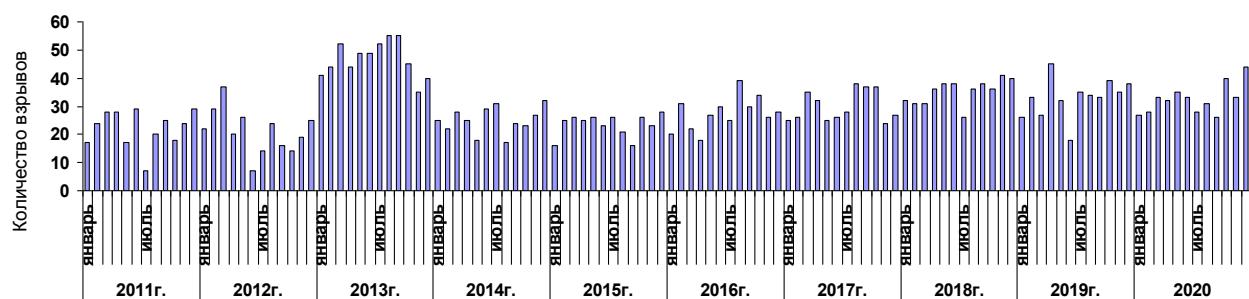


Рис. 3. Распределение числа взрывов по месяцам и годам за 2011–2020 гг.  
 Fig. 3. Distribution of the number of explosions by month and year for 2011–2020

В процессе проведения сейсмического мониторинга выявлено, что ежемесячно в течение длительного промежутка времени происходит порядка 30 промышленных взрывов (см. рис. 3). В отдельные месяцы их число увеличивается до 45, т.е. взрывы происходят фактически ежедневно. Максимальное количество взрывов было произведено в 2013 г. (546), минимальное – 2014–2015 гг. (280, 300). С 2016 г. намечается тенденция ежегодного увеличения количества взрывов.

Такое интенсивное производство взрывных работ, безусловно, отражается на состоянии эколого-геологических систем не только верхних горизонтов литосферы, но и всей земной коры и верхов мантии. Свидетельством этого является, во-первых, суще-

ственное увеличение интенсивности микросейсмического фона [Семенов и др., 2011; Семенов и др., 2020], во-вторых, наличие в волновых формах сейсмических событий, вызванных взрывами, отраженных волн от подошвы земной коры и внутрикоровых глубинных границ.

С экологической точки зрения, важным является также время сейсмических воздействий (вибраций). На рис. 4 в качестве примера показано распределение производства взрывов по времени суток на основе обобщения данных за 2020 г. Однако, как свидетельствует анализ данных за более чем десятилетний период, время производства взрывов в крупных карьерах фактически не меняется. Некоторое перераспределение количества взрывов в карьерах Липецкой области по времени не меняет общей картины [Семенов и др., 2020].

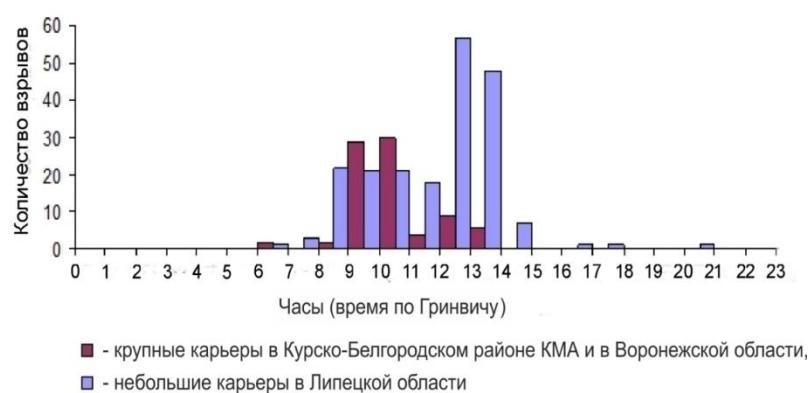


Рис. 4. Обобщенный за год график распределения по времени суток сейсмических событий, возникающих при производстве взрывных работ в карьерах, расположенных на территории ЦЧЭР

Fig. 4. A year-by-year summary of the time-of-day distribution of seismic events that occur during blasting operations in quarries located on the territory of the CCER

В крупных карьерах 90 % взрывов производятся с 8:00 до 11:00 [Семенов и др., 2020]. В карьерах, в которых добывается доломит и известняк (карьера в Липецкой области), взрывы производятся фактически в течение всего рабочего времени, а в отдельных случаях даже в ночное время, т.е. четкой привязки по времени нет (см. рис. 4) [Семенов и др., 2020].

Энергетический класс ( $K_p$ ) сейсмических событий, возникающих при производстве промышленных взрывов, изменяется от  $K_p = 1,0$ , т.е. энергия  $E = 10$  Дж, до  $K_p = 10,0$ , т.е. выделившаяся при производстве таких взрывов энергия составляет  $10^{10}$  Дж. В основном, взрывы в крупных карьерах создают сейсмические события 7–9 энергетических классов [Семенов и др., 2011; Семенов и др., 2020]. Исключение составляют взрывы в карьере «Железногорский». При производстве промышленных взрывов в этом карьере примерно 50 % возбуждаемых событий относится к 9,0 энергетическому классу, около 5 % – к 10,0 и только 1 % – к 7,0 энергетическому классу [Семенов и др., 2020].

Взрывы в карьерах Липецкой области создают сейсмические события, в основном 5 энергетического класса и ниже. Однако взрывы происходят практически ежесуточно, что, безусловно, оказывает негативное влияние на состояние экологого-геологических систем.

Из сказанного следует, что территория ЦЧЭР находится под постоянным сейсмическим воздействием, вызванным промышленными взрывами в многочисленных карьерах. В регионе ежесуточно производится, как минимум, один взрыв. Ситуация в ряде случаев осложняется еще и тем, что в разных крупных карьерах взрывы производятся в один и тот же промежуток времени и в одни и те же дни недели. Неоднократно взрывы в разных карьерах происходят с задержкой от нескольких минут до одного часа. В таких случаях возбуждаемые взрывами колебания суммируются, интенсивность и продолжительность воздействий увеличивается [Семенов и др., 2020].

С целью исследования характера изменения сейсмических событий, возникающих при взрывах, в зависимости от расстояния до источника, выполнен эксперимент. На разных расстояниях от источника – карьера «Павловский» – в пределах одной и той же геологической структуры (Лосевская шовная зона Воронежского кристаллического массива) была организована сеть сейсмических станций, которые оснащались регистраторами «UGRA» и сейсмометрами СМ-3КВ.

Выполнялась регистрация трех компонент волнового поля: вертикальной – Z-компоненты и двух горизонтальных: север-юг – N-компонента и восток-запад – E-компонента.

### Результаты и их обсуждение

По результатам проведенного эксперимента были выявлены деформации фоновых характеристик сейсмического поля, возникших вследствие сейсмического воздействия в процессе проведения разномасштабных промышленных взрывов, а также определены пространственно-временные закономерности его преобразования в пределах горнодобывающих районов ЦЧЭР.

На рис. 5 представлены записи трех компонент сейсмического события на разных расстояниях от источника. Амплитуды нормировались по максимальному значению соответствующих компонент на фиксированных расстояниях.

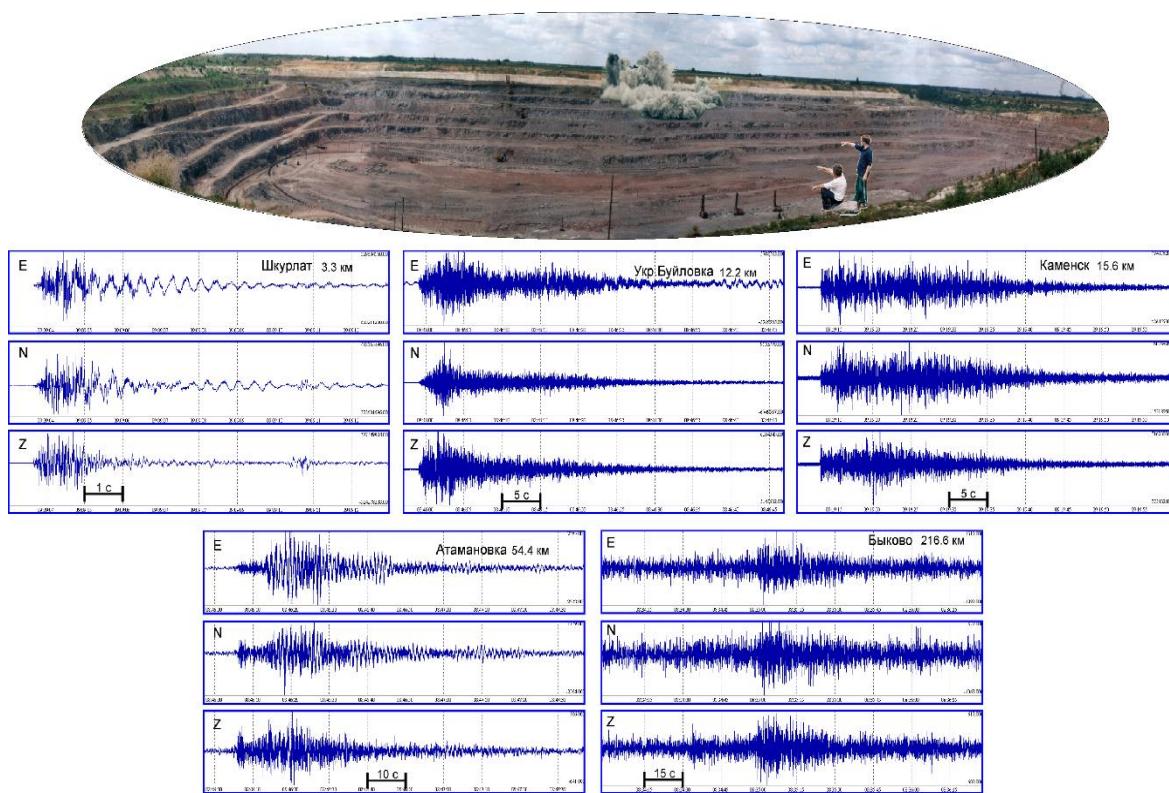


Рис. 5. Трехкомпонентные записи волновых форм промышленного взрыва в Павловском карьере на разных расстояниях от карьера. На графиках по горизонтальной оси – время в секундах, по вертикальной – амплитуда колебаний (амплитуды нормализованы по максимальному значению амплитуд соответствующих компонент на соответствующих расстояниях)

Fig. 5. Three-component records of wave forms of an industrial explosion in the Pavlovsky quarry at different distances from the quarry. On the graphs on the horizontal axis – the time in seconds, on the vertical – the amplitude of the oscillations (the amplitudes were normalized by the maximum value of the amplitudes corresponding to the components at the corresponding distances)

Как видно из рис. 5, форма сигнала (всех компонентов) претерпевает значительные изменения, с одной стороны за счет рассеивания энергии, с другой – вследствие наличия в волновой форме отраженных волн от границ раздела в литосфере, интерференции волн разного типа. На близких расстояниях сейсмический сигнал короткий по времени, в нем выделяются цуги колебаний, обусловленные подрывом отдельных блоков. Начиная уже с 15 км, сигнал представляет собой единую волновую форму со сложной структурой. Время воздействия увеличивается в 5 раз по сравнению с воздействием на расстоянии порядка 5 км.

В целом наиболее значимые колебания фиксируются в течение 3 с. На расстоянии 54,4 км временной интервал воздействия увеличивается до 10 с, пять из которых отличаются наибольшим сейсмическим воздействием. Сейсмическая станция, расположенная в с. Быково в 216,6 км от карьера «Павловский», фиксирует наиболее длительные по времени колебания – 15 с. При этом все время воздействия амплитуда колебаний превышает микросейсмический фон. Зафиксировано, что подобные воздействия активизируют экзогенные процессы на расстоянии до нескольких сотен километров от источника. Аналогичные явления наблюдаются в регионах с активной добычей полезных ископаемых [Адушкин, 1996; Спунгин, Перник, 1998; Адушкин и др., 2000; Кишкина, 2000; Косинова, 2010; Семенов и др., 2011; Адушкин, 2013; Адушкин, Маловичко, 2013; Еманов и др. 2019; Репина, Семенов и др., 2020].

Значительное влияние на формирование волновых форм сейсмических событий (сигналов) от короткозамедленных карьерных взрывов оказывают локальные геологические условия [Кишкина, Спивак, 1999; Кишкина, 2000; Гриб и др., 2015; Косинова, 2015; Еманов и др. 2019]. Если геологическое строение литосферы на пути распространения сейсмического сигнала оказывает интегральное влияние, то анализ волновых форм в пунктах наблюдения дает представление о характере влияния локальных геологических условий [Семенов и др., 2020].

На рис. 6 представлен пример записи трех компонент сейсмического события, возникшего в результате взрыва в карьере «Павловский» двумя станциями: VAU7 – на расстоянии 120 км от карьера, и ABD1 – на расстоянии 140 км. Расстояние между станциями составляет 20 км. В этом случае методика подрыва не влияет на структуру сейсмического поля, особенности трассы в обоих случаях одинаковые, так как станции и карьер находятся в одной и той же крупной структуре Воронежского кристаллического массива – Лосевской шовной зоне. Однако записи волновых форм и амплитудно-частотные спектры их существенно различаются.

Как видно из рис. 6, общим в записях волновых форм сейсмического события различными станциями является наблюдаемое преобладание горизонтальных компонент над вертикальными. В спектре записей всех компонент сейсмического события в районе обоих станций на частотах менее 1,0 Гц (0,4–0,8 Гц) выделяется достаточно интенсивный спектральный максимум, превышающий спектральные амплитуды фоновых колебаний более чем в 10 раз. Наблюдаемый максимум сформирован спектральными амплитудами поверхностных волн Релея и Лява.

Однако морфология записей и амплитудно-частотные спектры на частотах выше 1,0 Гц в районе обоих станций значительно различаются.

В районе станции VAU7 интенсивность обоих горизонтальных компонент близка. В амплитудно-частотном спектре трех компонент сейсмического события наблюдается превышение более чем в 10 раз спектральных амплитуд сейсмического события над спектральными амплитудами фоновых колебаний. В районе станции VAU7 в спектрах горизонтальных компонент на фоне общего увеличения интенсивности спектральных амплитуд наблюдается два максимума в диапазоне частот 2,5–3,5 Гц и 7,0–10,0 Гц. В целом, несмотря на то что сейсмическая станция удалена от источника колебаний (карьер «Павлов-

ский») более чем на 100 км, наблюдается увеличение колебаний частиц грунтов в 10 раз по сравнению с фоновыми (см. рис. 5).

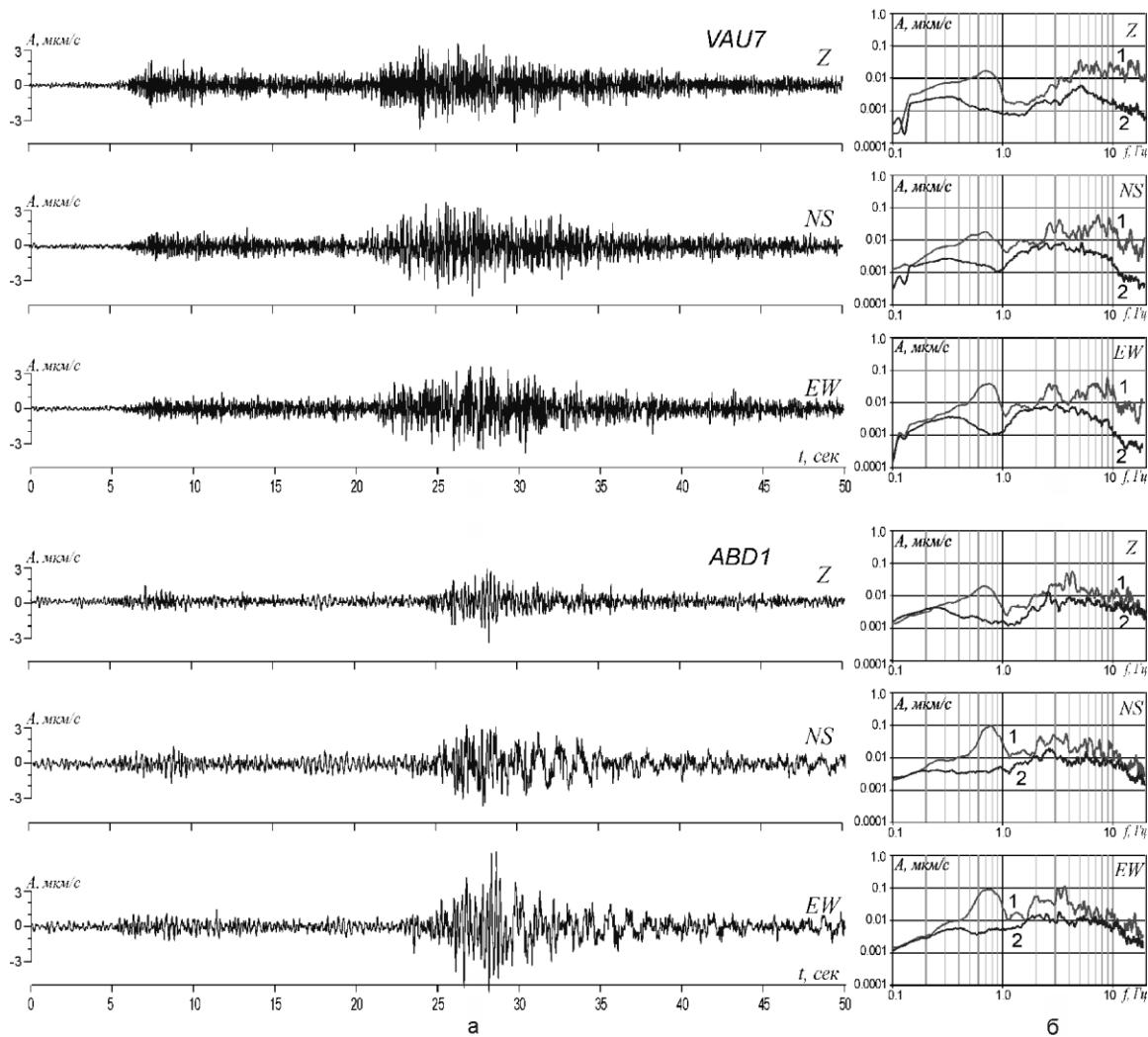


Рис. 6. Три компонента записей сейсмического события, возникшего в результате взрыва в карьере «Павловский» (а) и амплитудно-частотные спектры его записей (1) и фона (2) (б) станциями, расположенными в различных локальных геологических условиях

Fig. 6. Three components of the records of a seismic event that occurred as a result of an explosion in the Pavlovsky quarry (a) and the amplitude-frequency spectra of its records (1) and background (2) (b) by stations located in different local geological conditions

Записи 3 компонент сейсмического события этого же взрыва в районе станции ABD1 и их амплитудно-частотные спектры отличаются в области частот выше 1 Гц. Амплитуды  $E$ -компонент существенно превышают величину амплитуды  $N$ - и  $Z$ -компонент сейсмического события. В амплитудно-частотные спектры горизонтальных компонент в области частот 2,0–4,0 Гц выделяются спектральные максимумы, превышающие спектральные амплитуды фоновых колебаний в 5–7 раз. В амплитудно-частотном спектре  $Z$ -компоненты максимум выражен слабее, превышение его над спектральными амплитудами фоновых колебаний составляет не более 3 раз. Выше 5,0 Гц спектральные амплитуды события и фоновых колебаний близки, в отличие от амплитудно-частотных спектров трех компонент события, записанного станцией VAU7, где выше 5,0 Гц спектральные ампли-

туды события превышают фоновые более чем в 10 раз. Этот факт может свидетельствовать, что геологическая среда в районе расположения сейсмической станции ABD1 в значительной степени рассеивает (поглощает) высокочастотные составляющие волнового поля сейсмических событий от массовых промышленных взрывов.

Различия в длине трассы на 20 км не играют существенной роли в формировании волновых форм сейсмического события, так как интегральные характеристики трассы в анализируемом случае одинаковы. Наблюдаемые различия в записях волновых форм и спектрах записей обусловлены локальными условиями в месте, где выполнены наблюдения. Не вдаваясь в подробное описание локальных отличий геологического строения, отметим, что станция VAU7 расположена фактически в зоне сочленения Среднерусской возвышенности и Окско-Донской впадины, где верхние горизонты геологической среды дезинтегрированы, частично обводнены. Станция ABD1 расположена в пределах Среднерусской возвышенности, где структура и вещественный состав как осадочного чехла, так и более глубоких горизонтов отличаются от условий расположения сейсмической станции VAU7.

Безусловно, промышленные взрывы различной мощности и с разной методикой подрыва в разных карьерах возбуждают сейсмические события, имеющие специфические черты. На близких расстояниях это короткие и интенсивные сейсмические сигналы. С увеличением расстояния от источника структура и интенсивность сейсмического события (сигнала) меняется. В зависимости от строения геологической среды на пути распространения сейсмического события (трассы), уменьшается его амплитуда и увеличивается время воздействия. Локальные геологические условия вносят существенный вклад в формирование волновых форм, интенсивность колебаний и их спектральный состав.

Проведенные исследования позволили оценить влияние техногенной сейсмичности на абиотические и биотические компоненты эколого-геологических систем, находящихся в зоне воздействия.

### ***1. Характер влияния на абиотические компоненты эколого-геологических систем***

#### ***A) Приповерхностная часть литосферы***

В настоящей работе анализируются сейсмические события, возникающие при проведении взрывных работ в диапазоне частот 0,1–20,0 Гц.

Как было сказано выше, на формирование сейсмического сигнала от взрыва влияет методика производства короткозамедленного взрыва и количество используемого ВВ. На рис. 8 представлены записи одной станцией Z-компоненты и амплитудно-частотные спектры сейсмических событий, вызванных взрывами в карьере «Железногорский». Сейсмическая станция расположена в 52 км от центра карьера. Как видно на рис. 7, волновые формы отличаются по длительности, морфологии записи и интенсивности колебаний.

Амплитудно-частотные спектры записей Z-компоненты всех анализируемых сейсмических событий имеют общие и специфические черты. Судя по амплитудно-частотным спектрам, спектральные амплитуды вертикальной компоненты сейсмического события превышают спектральные амплитуды фоновых колебаний на порядок и более в диапазоне частот 0,4–20,0 Гц. Четко выделяются два максимума на частотах 0,4–0,8 Гц и 1,0–2,0 Гц. При этом превышение спектральных амплитуд сигнала над фоновыми колебаниями в диапазоне частот 1,0–2,0 Гц достигает, фактически двух порядков, т.е. составляет 100 раз. Выше трех Гц амплитудно-частотные спектры Z-компоненты имеют специфические черты, обусловленные методикой подрыва и количеством используемого ВВ. В диапазоне частот 10,0–20,0 Гц превышение спектральных амплитуд сейсмического события над фоновыми в отдельных случаях достигает фактически 1000 раз, в других – 100 раз.

Из сказанного следует, что промышленные взрывы даже на расстоянии более 50 км создают колебания в диапазоне частот 0,4–20,0 Гц, превышающие фоновые в основном в 10 раз, в районе спектральных максимумов в 1000 раз.

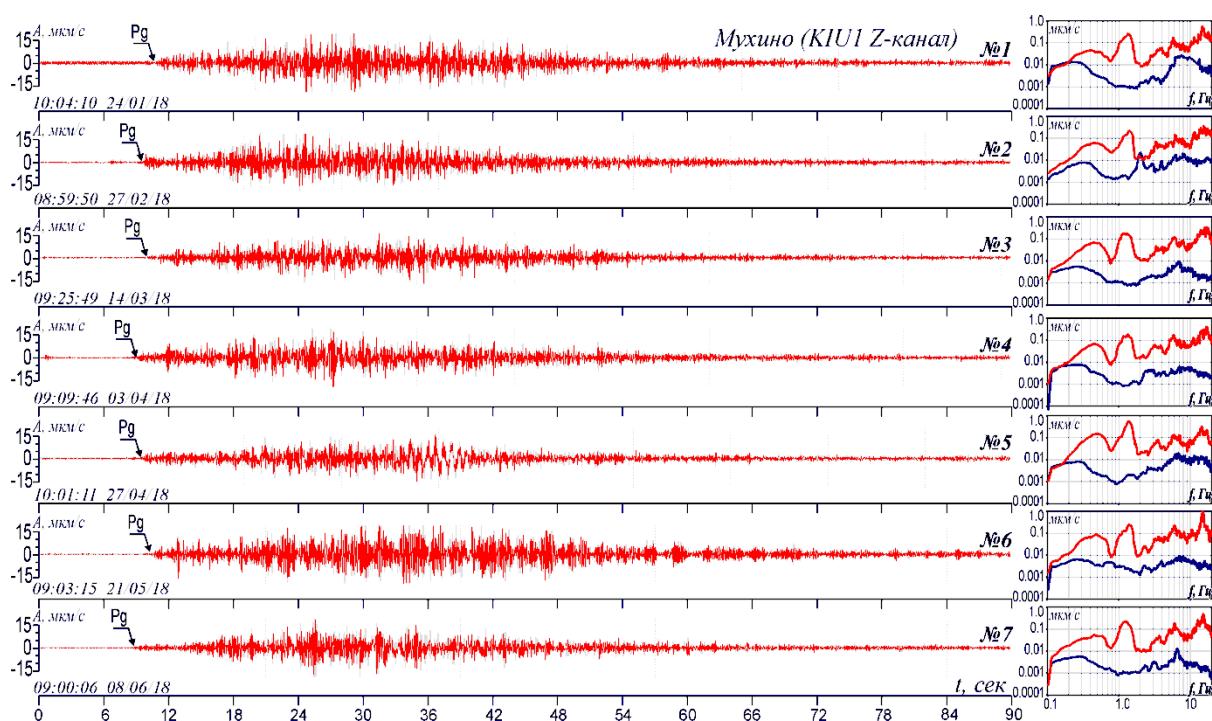


Рис. 7. Записи Z-компоненты и амплитудно-частотные спектры сейсмических событий, возникающих при различных взрывах в карьере «Железногорский» по данным одной станции  
 Fig. 7. Records of Z-components and amplitude-frequency spectra of seismic events occurring during various explosions in the Zheleznogorsk quarry according to the data of one station

На рис. 8 показан пример изменения характера Z-компоненты, а также амплитудно-частотных спектров с увеличением расстояния. Данный рисунок демонстрирует факт того, что с увеличением расстояния снижается интенсивность колебаний и увеличивается длительность воздействий. В амплитудно-частотном спектре, вне зависимости от расстояния, сохраняются основные особенности, отмеченные выше, т.е. четко выделяются два максимума в диапазоне частот 0,4–0,8 и 1,0–2,0 Гц и существенно увеличиваются спектральные амплитуды Z-компоненты сейсмического события на частотах выше 10,0 Гц. Следует отметить, что с увеличением расстояния интенсивность спектральных амплитуд в диапазоне частот локальных максимумов уменьшается. На расстоянии 52,5 км в диапазоне частот 1,0–2,0 Гц интенсивность спектральных амплитуд Z-компоненты сейсмического события превышает фоновые в 100 раз, а на расстоянии 84,5 км – 15 раз.

На более высоких частотах (выше 10,0 Гц), как видно на рис. 8, превышение спектральных амплитуд над фоновыми уменьшается от 100 раз до 10 раз. Кроме того, как в записях волновых форм, так и в их амплитудно-частотных спектрах видны специфические черты, обусловленные локальными геологическими условиями в месте наблюдений. На расстоянии 67,7 и 78,6 км наблюдается частотная избирательность геологической среды. В диапазоне частот 2,0–4,0 Гц спектральные амплитуды сейсмического события и фоновых колебаний близки по интенсивности.

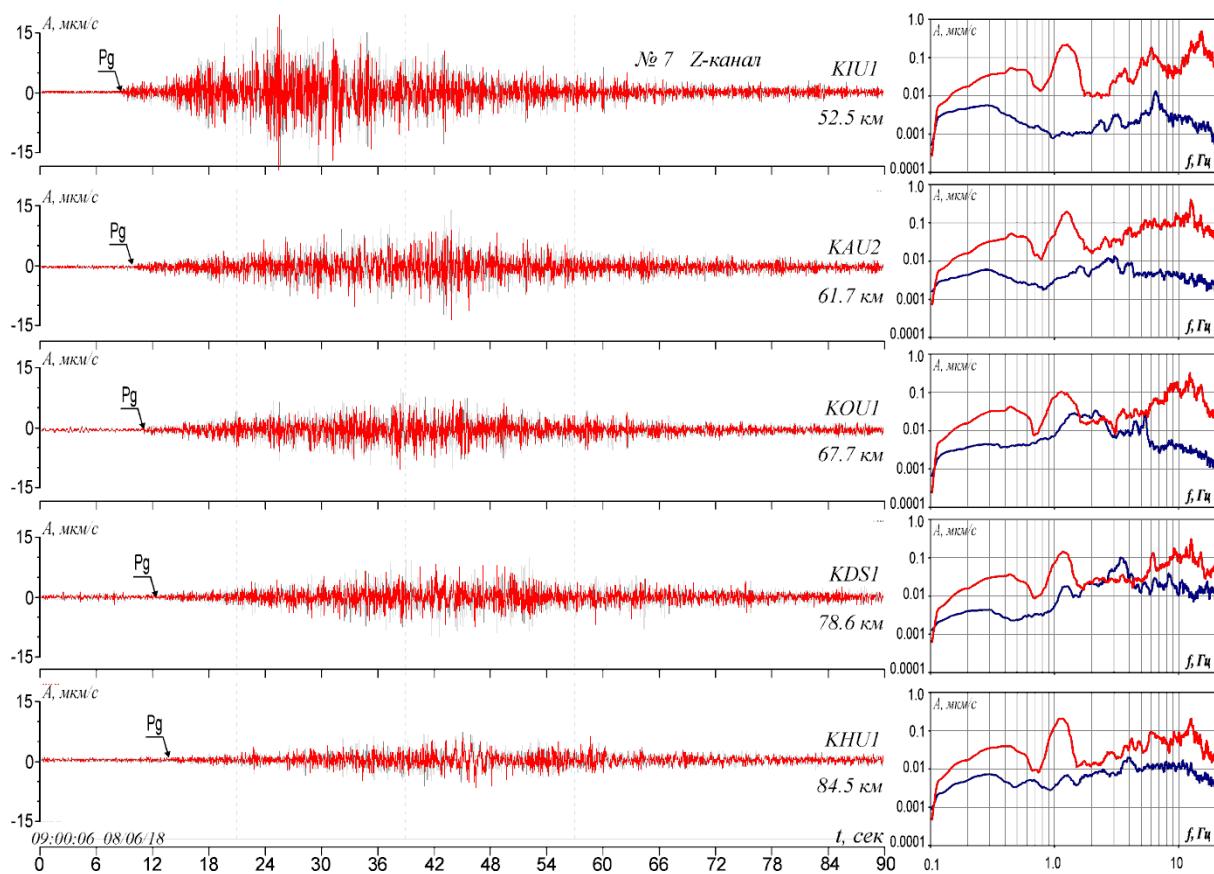


Рис. 8. Записи Z-компоненты и их амплитудно-частотные спектры одного взрыва в карьере «Железногорский» на разных расстояниях от источника

Fig. 8. Records of the Z-components and their amplitude-frequency spectra of a single explosion in the Zheleznogorsk quarry at different distances from the source

На рис. 9 представлены волновые формы Z-компоненты сейсмического события от промышленного взрыва в диапазоне частот спектральных максимумов в амплитудно-частотном спектре этого события. Показаны волновые формы Z-компоненты в различных диапазонах частот на расстоянии 52 км и 84 км от источника.

Из рис. 9 видно, что наиболее сильно с расстоянием затухают высокочастотные составляющие, их амплитуда на расстоянии 30 км уменьшилась на порядок. Уменьшение интенсивности низкочастотных составляющих не так значительно. Хорошо видно в записях Z-компоненты на частоте 1,0–2,0 Гц основное количество подрываемых блоков. В целом же анализ свидетельствует, что интенсивность колебаний с расстоянием уменьшается, но даже на расстоянии 84 км интенсивность Z-компоненты сейсмического события превышает фоновое микросейсмическое поле в 10 раз.

Рассмотренные выше примеры дают представление о сейсмических воздействиях, вызываемых промышленными взрывами на значительных расстояниях от источника (50 км и более). На фоне увеличивающейся интенсивности спектральных амплитуд сейсмического сигнала в амплитудно-частотном спектре четко выделяются локальные максимумы спектральных амплитуд (см. рис. 6, 7, 8). Наиболее выраженные и присутствующие практически во всех амплитудно-частотных спектрах спектральные максимумы наблюдаются в диапазоне частот: 0,4–0,8 Гц, 1,0–2,0 Гц и 10,0–20,0 Гц. В этих диапазонах частот спектральные амплитуды сигнала превышают фоновые от 10 до 100 раз в зависимости от расстояния до источника.

Формируются условия накопления энергии на тектонических и литологических границах в радиусе до 200 км, что сопровождается перераспределением естественного напряженного состояния грунтов, нарушением устойчивости склонов, возможностью развития микроземлетрясений.

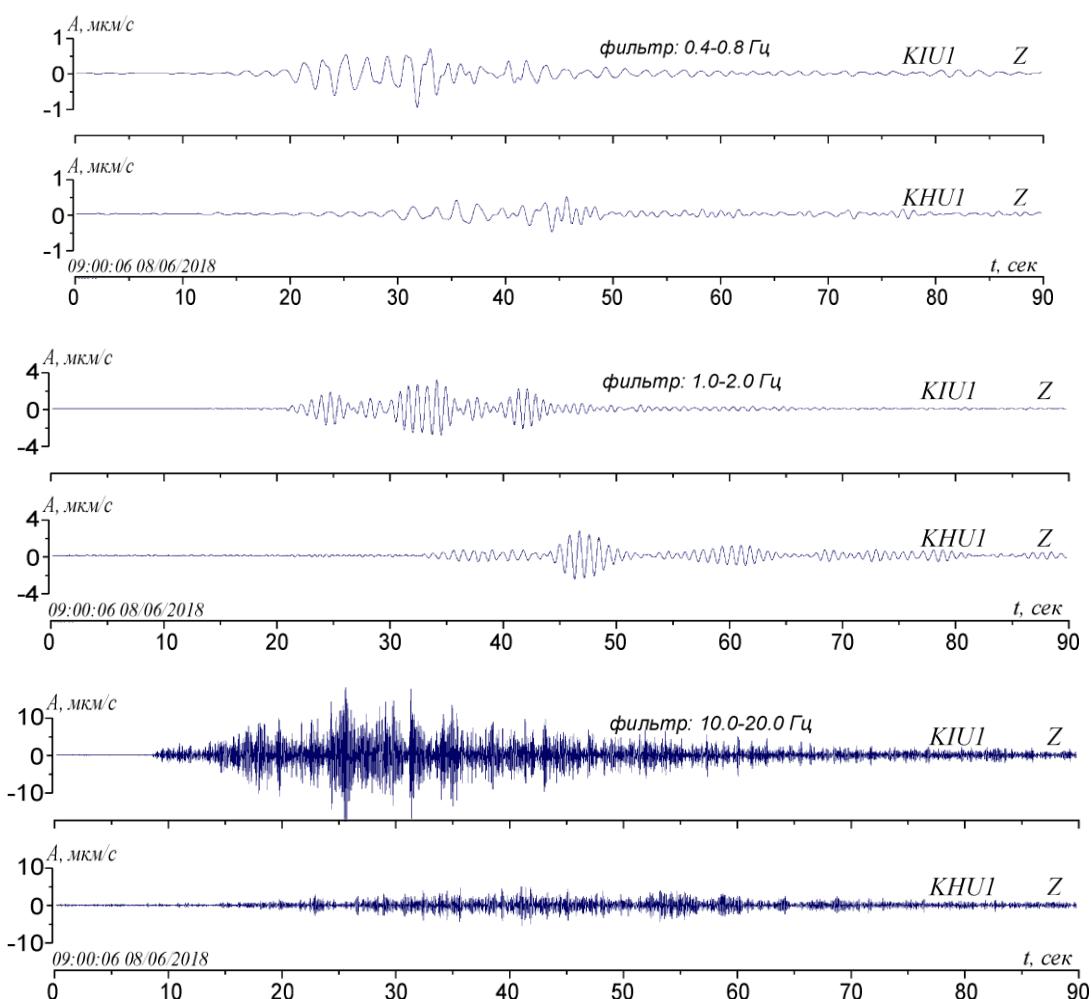


Рис. 9. Записи Z-компоненты в диапазонах частот спектральных максимумов

сейсмического события, вызванного взрывом в карьере «Железногорский»

Fig. 9. Records of the Z-component in the frequency ranges of the spectral maxima of the seismic event caused by the explosion in the «Zheleznogorsk» quarry

#### Б) Объекты капитального строительства

Влияние промышленных взрывов на инженерные здания и сооружения фиксируются на значительном удалении от карьеров (более 50 км). С целью оценки влияния промышленных взрывов на жилые дома была организована установка сейсмических станций непосредственно в доме и на грунте. На рис. 10 приведен пример сейсмического воздействия в ближней зоне карьера «Павловский». В рассмотренном примере мощность взрыва составила 300 т ВВ. При разработке полезных ископаемых карьер постепенно передвигается к зонам жилой застройки. Так, в п. Шкурлат, ближайшем к карьеру, некоторые жилые дома уже находятся на расстоянии менее 3 км от карьера.

На рис. 10 представлены записи трех компонент сейсмического события, вызванного промышленным взрывом.

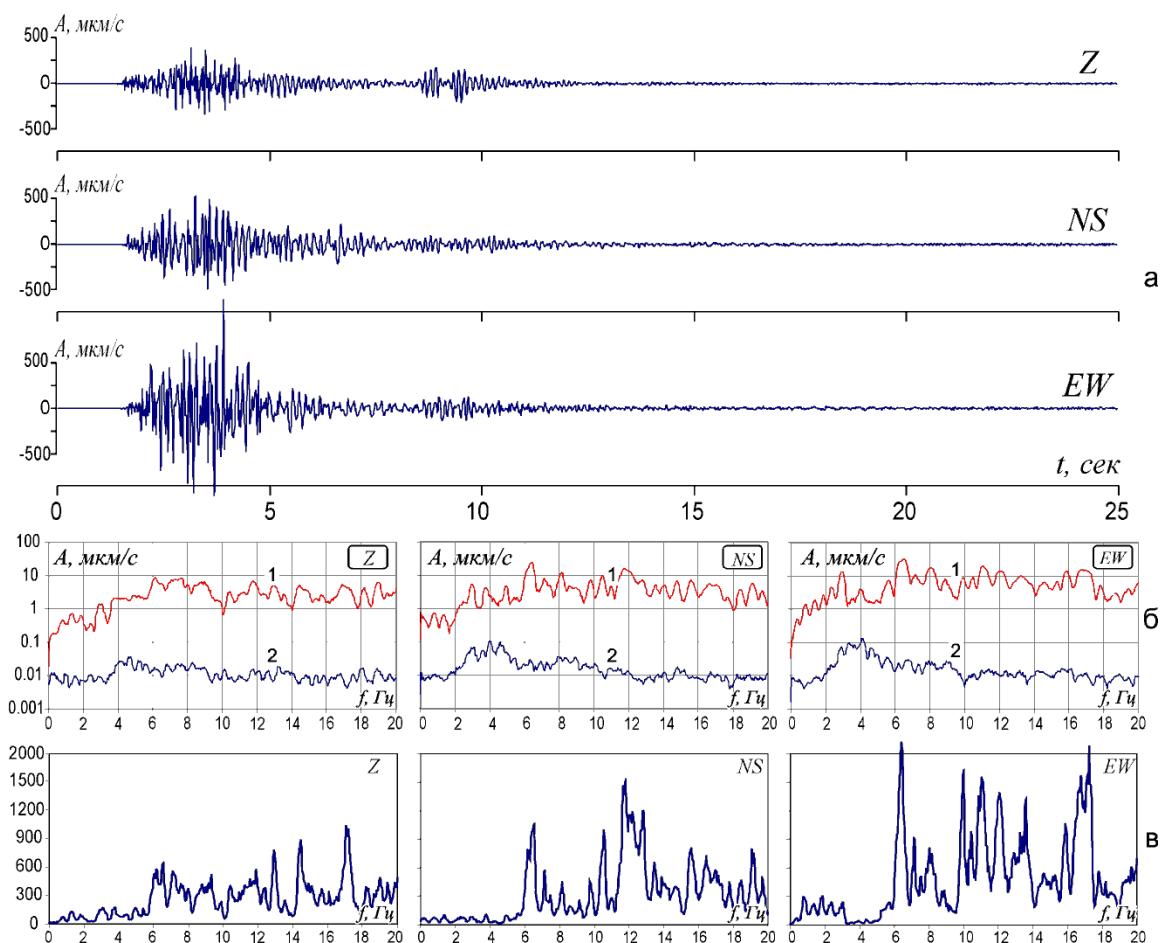


Рис. 10. Запись трех компонент сейсмического события, вызванного промышленным взрывом в карьере «Павловский» (300 т ВВ) в жилом доме (а), амплитудно-частотные спектры трех компонент микросейсмического фона и сейсмического события (б) и их отношение (в)

Fig. 10. Recording of three components of a seismic event caused by an industrial explosion in the Pavlovsky quarry (300 t BB) in a residential building (a), the amplitude-frequency spectra of the three components of the microseismic background and the seismic event (b) and their ratio (c)

Рис. 10 демонстрирует наличие наиболее интенсивных колебаний для Е-компоненты. Максимальная амплитуда колебаний составляет 1000  $\mu\text{м}/\text{с}$  (0,1 см/сек). Наиболее сильные колебания, от 500  $\mu\text{м}/\text{с}$  до 1000  $\mu\text{м}/\text{с}$ , делятся порядка 2 с.

Отношение спектральных амплитуд фоновых колебаний и сейсмического события свидетельствует, что в диапазоне частот 6,0–20,0 Гц интенсивность колебаний всех компонент значительно увеличивается. В диапазоне частот 6,0–8,0 Гц и 16–18 Гц спектральные амплитуды Е-компоненты увеличиваются более чем в 2000 раз по сравнению с фоновыми, а в диапазоне частот 10,0–13,0 Гц – более 1000 раз (см. рис. 10). Эти данные указывают на наличие резонансных явлений. Единичные воздействия, возможно, существенно не повлияли бы на сохранность жилого дома. Однако наблюдаемые регулярные сейсмические воздействия способствуют его преждевременному разрушению. Из сказанного следует, что сейсмические воздействия отрицательно влияют на жилые дома, системы жизнеобеспечения, вызывают резонансные явления, создают дискомфортные условия для проживания населения. Регулярность воздействий делает проблему еще более острой. К сожалению, как отмечалось выше, в настоящее время внешние воздействия, к которым относятся воздействия, вызванные промышленными взрывами, не учитываются при инженерных изысканиях, не разработаны методические подходы и технологические приемы их учета, отсутствуют нормативные документы. Вместе с тем, пусть даже не очень про-

должительное (несколько секунд), но увеличение интенсивности фоновых колебаний в 10–1000 раз существенно сказывается на объектах жизнеобеспечения, зданиях, сооружениях и в целом на комфортности среды обитания человека.

## 2. Особенности воздействия на биотическую компоненту экологогеологической системы

Учитывая динамику взрывных работ в промышленных карьерах и характер распространения сейсмических колебаний, вызванных взрывами, их спектральный состав и интенсивность, можно сделать вывод, что все это создает дискомфортную среду для обитания человека. Существенное увеличение интенсивности фоновых колебаний под воздействием промышленных взрывов влечет за собой накопление остаточных деформаций не только в геологической среде, но и в зданиях, сооружениях, объектах жизнеобеспечения, различных коммуникациях, трубопроводах и т.п.

Влияя на среду обитания человека, сейсмические колебания оказывает значительное влияние и на организм человека, его здоровье. Согласно нормативным документам, в жилых помещениях допустимый уровень вибрации на частоте 2,0 Гц составляет  $3,2 \times 10^{-4}$  м/с, 4,0 Гц –  $1,8 \times 10^{-4}$  м/с, а на частоте 8,0 Гц и выше –  $1,1 \times 10^{-4}$  м/с. Наблюдаемые в ближней зоне (3 км) карьера «Павловский» значения виброскорости составляют  $1,0 \times 10^{-3}$  м/с, т.е. на порядок выше допустимых значений. Этот факт однозначно свидетельствует, что в ближней зоне, в радиусе 3,0 км от карьера, среда обитания дискомфортна для человека.

Следует отметить, что ритмы, характерные для большинства систем организма человека, лежат в следующих диапазонах частот [Чухров, Чухрова, 2010]:

- сокращения сердца – 1,0–2,0 Гц;
- дельта-ритм мозга (состояние сна) – 0,5–3,5 Гц;
- альфа-ритм мозга (состояние покоя) – 8,0–13,0 Гц;
- бета-ритм мозга (познавательный процесс) – 14,0–35,0 Гц [Косинова, Кустова, 2008].

Из приведенного выше анализа записей волновых форм сейсмических событий и амплитудно-частотных спектров следует, что в указанных выше диапазонах частот наблюдается значительное увеличение интенсивности сейсмических колебаний, вызванных промышленными взрывами. Так, например, в диапазоне частот 1,0–2,0 Гц в амплитудно-частотном спектре сейсмических событий, возникающих при производстве взрывов, наблюдается максимум, превышающий фоновые колебания на два порядка. Этот же диапазон частот характерен для сердечного ритма. Регулярно повторяющиеся интенсивные сейсмические воздействия, вызванные взрывами, будут способствовать накоплению в организме негативных явлений и приводить к ухудшению здоровья человека.

Изменяется психоэмоциональное состояние человека, возникают состояния тревожности и агрессии [Чухров, Чухрова, 2010]. Колебания (вибрации) вызывают эффект резонанса в человеческом теле уже при 1,0–3,0 Гц. Явление резонанса в соответствующих органах может сопровождаться сильнейшими болевыми ощущениями.

Резонансные колебания являются одними из наиболее вредоносных для жизни человека. Такие явления могут возникать в момент взрыва для человека, находящегося в положении «сидя» и «стоя» и отдельно для систем «грудь-живот», брюшная полость, «таз-спина». Возникающие при взрыве колебания имеют частоту в диапазоне 0,5–6,0 Гц и выше, которые регистрируются в населенных пунктах, находящихся как на близких к месту проведения буровзрывных работ, так и на значительных расстояниях.

## Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Выявлены особенности временной и пространственной динамики промышленных взрывов, производимых в карьерах на территории ЦЧЭР. Показано, что в пределах ЦЧЭР ежесуточно производится хотя бы один промышленный взрыв. Количество выделившейся сейсмической энергии при этом колеблется от 10 Дж до  $10^{10}$  Дж. Сейсмические события, возникающие при промышленных взрывах, распространяясь на значительные расстояния, увеличивают интенсивность фоновых колебаний в различных диапазонах частот в 10–1000 раз в зависимости от мощности промышленного взрыва и локальных геологических условий. Выявлено, что с увеличением расстояния от источника снижается интенсивность колебаний и увеличивается длительность воздействий на компоненты эколого-геологической системы. Наиболее сильно с расстоянием затухают высокочастотные составляющие, их амплитуда на расстоянии 30 км уменьшилась на порядок. Уменьшение интенсивности низкочастотных составляющих не так значительно.

2. Сейсмические воздействия, формирующиеся в результате проведения промышленных взрывов, оказывают значительное влияние на эколого-геологические системы. Тренд их негативного преобразования фиксируется как для абиотического, так и для биотического компонента эколого-геологических систем. Выявлено, что сейсмические воздействия, распространяясь на значительные расстояния, существенно трансформируют фоновые микросейсмические колебания в широком диапазоне частот: от 0,4 Гц до 20 Гц. Регулярность проведения промышленных взрывов, значительная интенсивность колебаний, возникающая при этом, способствуют накоплению остаточных деформаций на тектонических и литологических неоднородностях, которые могут способствовать и быть причиной наведенной сейсмичности, проявляющейся на расстоянии до 200 км. Инженерные сооружения как элементы эколого-геологических систем испытывают вибрационные воздействия сейсмического характера на расстоянии до 50 км от источника.

3. Сейсмические воздействия, формируемые при горнодобывающей деятельности, являются источником ухудшения комфорtnости среды обитания. К особенностям их проявления относятся: регулярность во времени, интенсивность амплитуд колебаний и частотный состав, возможность возникновения резонансных явлений. Радиус воздействия экологически значимых сейсмических вибраций составляет 3000 м от источника, это территория дискомфортной среды обитания.

4. Считаем необходимым учет сейсмических воздействий при разработке направлений дальнейшего развития горнодобывающих регионов, в особенности при проектировании и строительстве особо опасных объектов (новые блоки АЭС, высотные дома, объекты специального назначения, системы коммуникаций). Для этого необходима разработка методических и нормативных документов, регламентирующих практическое-хозяйственное освоение территорий горнодобывающих районов с учетом сейсмических воздействий производимых промышленных взрывов.

## Список литературы

1. Адушкин В.В. 1996. Основные факторы воздействия открытых горных работ на окружающую среду. Горный журнал, 4: 49–55.
2. Адушкин В.В. 2013. Сейсмичность взрывных работ на территории Европейской части России. Физика Земли, 2: 110–130. DOI: 10.7868/S000233371301002X.
3. Адушкин В.В., Кочерян Г.Г., Санина И.А. 2011. О вкладе взрывных работ в развитие сейсмодеформационных процессов в регионе. Доклады Академии Наук, 441 (1): 92–94.
4. Адушкин В.В., Маловичко А.А. 2013. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России. Москва, ГЕОС, 384 с.

5. Адушкин В.В., Спивак А.А., Соловьев С.П., Перник П.М., Кишкина С.Б. 2000. Геоэкологические последствия массовых взрывов в карьерах. Геоэкология, 6: 554–563.
6. Адушкин В.В., Спивак А.А. 1994. Диагностика локальных участков земной коры на основе данных релаксационного контроля. В кн.: Физические процессы в геосферах при сильных возмущениях: геофизика сильных возмущений. Москва, Наука: 78–106.
7. Ананьев И.В. 1988. К вопросу о проявлении некоторых землетрясений в восточной части Восточно-Европейской платформы. Вопросы инженерной сейсмологии, 29: 119–124.
8. Гриб Н.Н., Гриб Г.В., Сясько А.А., Качаев А.В. 2015. Сейсмическое воздействие массовых взрывов на природно-технические объекты. Безопасность в техносфере, 4 (2): 33–39. DOI: 10.12737/11331.
9. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Серёжников Н.А., Фатеев А.В., Ворона У.Ю., Шевкунова Е.В. 2019. Сейсмологический мониторинг промышленных взрывов как эффективный подход к контролю сейсмического воздействия на недра. Инерекспо Гео-Сибирь, 2 (2): 56–66. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-2-2-56-66.
10. Кишкина С.Б. 2000. Пространственное распределение сейсмических параметров при короткозамедленном взрыве. Геодинамика и техногенез, 111–112.
11. Кишкина С.Б., Спивак А.А. 1999. Локальный сейсмический эффект карьерных взрывов. В кн.: Физические процессы в геосферах: их проявление и взаимодействие. Москва, ГЕОС: 111–116.
12. Косинова И.И. 2015. Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика). Воронеж, Областная типография им. Е.А. Болховитинова, 576 с.
13. Надежка Л.И., Семенов А.Е., Сафонич И.Н. 2019. Гистерезисная модель накопления и разрядки сейсмической энергии в геологической среде. В кн.: Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы V Международной конференции. Москва, 04–07 июня 2019 г. Москва, ТОРУС ПРЕСС: 85–89.
14. Петин А.Н., Игнатенко И.М. 2016. Минерально-сырьевые ресурсы богатых железных руд Белгородского района Курской магнитной аномалии. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 25 (246): 138–142.
15. Полухин О.Н., Комащенко В.И. 2014. Природоохранная концепция добычи и переработки минерального сырья в Центральном Федеральном округе России на примере Белгородского региона. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 23 (194): 180–186.
16. Репина Е.М., Косинова И.И. 2010. Техногенная сейсмичность при горнодобывающей деятельности, ее влияние на инженерные сооружения и здоровье человека. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 1: 71–76.
17. Семенов А.Е., Ефременко М.А., Пивоваров Р.С. 2011. Основные особенности волновых полей промышленных взрывов в крупных карьерах на территории Воронежского кристаллического массива. Труды XII Уральской молодежной научной школы по геофизике. Пермь, 21–25 марта 2011 года. Пермь, Горный институт Уральского отделения Российской академии наук: 224–229.
18. Семенов А.Е., Надежка Л.И., Сафонич И.Н., Ежова И.Т. 2020. Характер и интенсивность сейсмических воздействий горно-промышленных комплексов на литосферу Воронежского кристаллического массива. В кн.: Структура, вещественный состав, свойства, геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Воронеж, 22–25 сентября 2020 года. Воронеж, Воронежский государственный университет: 317–321.
19. Спунгин В.Г., Перник П.М. 1998. Особенности сейсмического эффекта массового взрыва химического ВВ. В кн.: Динамические процессы в геосферах под воздействием внешних и внутренних потоков энергии и вещества. Москва, ГЕОС: 270–278.
20. Тюпин В.Н., Хаустов В.В. 2021. Зависимость геомеханического состояния трещиноватого массива от интервала замедления в зоне сейсмического действия массовых взрывов. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2: 45–54. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-45-54.

21. Чухров А.С., Чухрова М.Г. 2010. Анализ влияния сейсмической активности на психоэмоциональную сферу человека. Мир науки, культуры, образования, 4–2 (23): 289–292.
22. Adushkin V.V. 2018. Technogenic tectonic seismicity in Kuzbass. Russian Geology and Geophysics, 59 (5): 571–583. DOI:10.1016/j.rgg.2018.04.010.
23. Feher J., Cambal J., Pandula B., Kondela, J., Sofranko, M., Mudarri T., Buchla I. 2021. Research of the technical seismicity due to blasting works in quarries and their impact on the environment and population. Applied Sciences (Switzerland), 11 (5): 2118. DOI:10.3390/app11052118.
24. Gheorghiosu E., Vasilescu G., Ghicioi E., Kovacs A., Ru, D.C. 2015. Research on decreasing the seismic effect generated by blasting works performed in quarries. In: Surveying Geology and Mining Ecology Management. Proceedings of the 15th Anniversary International Multidisciplinary Scientific Geoconferences SGEM. Bulgaria, 18–24 June 2015. Bulgaria, Albena, 3 (1): 559–566.
25. Kondela J., Pandula B. 2012. Timing of quarry blasts and its impact on seismic effects. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 9 (2): 155–163.

## References

1. Adushkin V.V. 1996. Osnovnyye faktory vozdeystviya otkrytykh gornykh rabot na okruzhayushchuyu sredu [The main factors of the impact of open pit mining on the environment]. Gorny zhurnal, 4: 49–55.
2. Adushkin V.V. 2013. Blasting-Induced Seismicity in the European Part of Russia. Izvestiya. Physics of the Solid Earth, 49 (2): 258–277. DOI: 10.1134/S1069351313010023 (in Russian).
3. Adushkin V.V., Kocheryan G.G., Sanina I.A. 2011. Contribution of Explosions to Development of Seismic Strains in the Region of the East European Craton. Doklady Earth Sciences, 441 (1): 1523–1525 (in Russian).
4. Adushkin V.V., Malovichko A.A. 2013. Vzryvy i zemletryaseniya na territorii Evropeyskoy chasti Rossii [Explosions and earthquakes on the territory of the European part of Russia]. Moscow, Pabl. GEOS, 384 p.
5. Adushkin V.V., Spivak A.A., Solovyov S.P., Pernik P.M., Kishkina S.B., 2000. Geoekologicheskiye posledstviya massovykh vzrysov v karyerakh [Geoecological consequences of mass explosions in quarries]. Geoekologiya, 6: 554–563.
6. Adushkin V.V., Spivak A.A. 1994. Diagnostika lokalnykh uchastkov zemnoy kory na osnove dannykh relaksatsionnogo kontrolya [Diagnostics of local areas of the earth's crust based on relaxation control data]. In: Fizicheskiye protsessy v geosferakh pri silnykh vozmushcheniyakh: geofizika silnykh vozmushcheniy [Physical processes in geospheres under strong disturbances: geophysics of strong disturbances]. Moscow, Pabl. Nauka, 78–106.
7. Ananyin I.V. 1988. K voprosu o proyavlenii nekotorykh zemletryaseniy v vostochnoy chasti Vostochno-Evropeyskoy platformy [On the question of the manifestation of some earthquakes in the eastern part of the East European Platform]. Voprosy inzhenernoy seismologii, 29: 119–124.
8. Grib N.N., Grib G.V., Syasko A. A., Kachaev A.V. 2015 Large-Scale Blasts Seismic Load on Natural and Technical Objects. Safety in Technosphere, 4 (2): 33–39. DOI: 10.12737/11331 (in Russian).
9. Emanov A.F., Emanov A.A., Serezhnikov N.A., Fateev A.V., Vorona U.Y., Shevkunova E.V. 2019. Seismological Monitoring of Industrial Explosions as an Effective Approach to Monitoring Seismic Exposure on Bowels. Interexpo GEO-Siberia, 2 (2): 56–66. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-2-2-56-66 (in Russian).
10. Kishkina S.B. 2000. Prostranstvennoye raspredeleniye seysmicheskikh parametrov pri korotkozamedlennom vzryve [Spatial distribution of seismic parameters in a short-lived explosion]. Geodinamika i tekhnogenet, 111–112.
11. Kishkina S.B., Spivak A.A. 1999. Lokalnyy seysmicheskiy effekt karyernykh vzrysov [Local seismic effect of quarry explosions]. In: Fizicheskiye protsessy v geosferakh: ikh proyavleniye i vzaimodeystviye [Physical processes in geospheres: their manifestation and interaction]. Moscow, Pabl. GEOS: 111–116.

12. Kosinova I.I. 2015. Ekologicheskaya geologiya krupnykh gornodobyvayushchikh rayonov Severnoy Evrazii (teoriya i praktika) [Ecological geology of large mining areas of Northern Eurasia (theory and practice)]. Voronezh, Oblastnaya tipografiya im. E.A. Bolkhovitinova, 576 p.
13. Nadezhka L.I., Semenov A.E., Safronich I.N., 2019. Gisterezisnaya model nakopleniya i razryadki seysmicheskoy energii v geologicheskoy srede [A hysteresis model of the accumulation and discharge of seismic energy in a geological environment]. In: Trigernyye effekty v geosistemakh [Trigger effects in geosystems]. Proceedings of the V International Conference. Moscow, 04–07 June 2019. Moscow, Pabl. TORUS PRESS: 85–89.
14. Petin A.N., Ignatenko I.M. 2016. Mineral-Raw Material Resources of Rich Iron Ores of Belgorod District of the Kursk Magnetic Anomaly. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 25 (246): 138–142 (in Russian).
15. Polukhin O.N., Komashchenko V.I. 2014. Environment-Oriented Conception of Extraction and Treatment of Mineral Raw Materials In Central Federal District of Russia on the Example of the Belgorod Region. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 23 (194): 180–186 (in Russian).
16. Repina E.M., Kosinova I.I. 2010. Technogenic Seismicity in Mining Activity, Its Effects on Engineering Structures and Human Health. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 1: 71–76 (in Russian).
17. Semenov A.E., Efremenko M.A., Pivovarov R.S. 2011. Osnovnyye osobennosti volnovykh poley promyshlennyykh vzryvov v krupnykh karyerakh na territorii Voronezhskogo kristallicheskogo massiva [The main features of wave fields of industrial explosions in large quarries on the territory of the Voronezh Crystal massif]. Proceedings of the XII Ural Youth Scientific School of Geophysics. Perm, 21–25 March 2011. Perm, Gornyy institut Uralskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk: 224–229.
18. Semenov A.E., Nadezhka L.I., Safronich I.N., Ezhova I.T. 2020. Kharakter i intensivnost seysmicheskikh vozdeystviy gorno-promyshlennyykh kompleksov na litosferu Voronezhskogo kristallicheskogo massiva [The nature and intensity of seismic impacts of mining and industrial complexes on the lithosphere of the Voronezh Crystal massif]. In: Struktura. veshchestvennyy sostav. svoystva. geodinamika i seysmichnost platformennykh territoriy i sopredelnykh regionov [Structure, material composition, properties, geodynamics and seismicity of platform territories and adjacent regions]. Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation. Voronezh, 22–25 September 2020. Voronezh, Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet: 317–321.
19. Spungin V.G., Pernik P.M. 1998. Osobennosti seysmicheskogo effekta massovogo vzryva khimicheskogo VV [Features of the seismic effect of a mass explosion of chemical explosives]. In: Dinamicheskiye protsessy v geosferakh pod vozdeystviyem vneshnikh i vnutrennikh potokov energii i veshchestva [Dynamic processes in geospheres under the influence of external and internal flows of energy and matter]. Moscow, Pabl. GEOS: 270–278.
20. Tyupin V.N., Khaustov V.V. 2021. Geomechanical Behavior of Jointed Rock Mass Versus Delay Interval in Seismic Load Zone of Large-Scale Blasts. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2: 45–54. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-45-54 (in Russian).
21. Chukhrov A.S., Chukhrova M.G. 2010. The Analysis of Influence of Seismic Activity on Psychoemotional Sphere of the Person. The world of science, culture and education, 4–2 (23): 289–292 (in Russian).
22. Adushkin V.V. 2018. Technogenic tectonic seismicity in Kuzbass. Russian Geology and Geophysics, 59 (5): 571–583. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.04.010.
23. Feher J., Cambal J., Pandula B., Kondela, J., Sofranko, M., Mudarri T., Buchla I. 2021. Research of the technical seismicity due to blasting works in quarries and their impact on the environment and population. Applied Sciences (Switzerland), 11 (5): 2118. DOI: 10.3390/app11052118.
24. Gheorghiosu E., Vasilescu G., Ghicioi E., Kovacs A., Ru, D.C. 2015. Research on decreasing the seismic effect generated by blasting works performed in quarries. In: Surveying Geology and Mining Ecology Management. Proceedings of the 15th Anniversary International Multidisciplinary Scientific Geoconferences SGEM. Bulgaria, 18–24 June 2015. Bulgaria, Albena, 3 (1): 559–566.
25. Kondela J., Pandula B. 2012. Timing of quarry blasts and its impact on seismic effects. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 9 (2): 155–163.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Косинова Ирина Ивановна**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая кафедрой экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

**Надёжка Людмила Ивановна**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующая лабораторией глубинного строения, геодинамики и сейсмического мониторинга им. проф. А.П. Таркова Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

**Лисецкий Федор Николаевич**, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

**Бударина Виктория Александровна**, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

**Семёнов Александр Евгеньевич**, научный сотрудник ЛСМ ВКМ Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

**Павловский Александр Илларионович**, кандидат географических наук, заведующий кафедрой геологии и географии геологогеографического факультета Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины, г. Гомель, Беларусь

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Irina I. Kosinova**, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Department of Environmental Geology of the Geological Faculty of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Lyudmila I. Nadezhka**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Deep Structure, Geodynamics and Seismic Monitoring. prof. A.P. Tarkov of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Fedor N. Lisetskii**, doctor of geographical sciences, professor of the Department of nature management and land cadaster, Institute of Earth Sciences, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Victoria A. Budarina**, Candidate of Law, Associate Professor of the Department of Environmental Geology, Geological Faculty of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Alexander E. Semenov**, Researcher of the LSM VKM of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Alexander I. Pavlovsky**, Candidate of Sciences in Geography, Head of the Department of Geology and Geography of the Faculty of Geology and Geography of the Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus