

## ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Е. М. Репина, И. И. Косинова

*Воронежский государственный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 25 февраля 2010 г.*

**Аннотация:** В статье представлены результаты инженерно-экологических изыскания в зоне сейсмического влияния месторождения по разработке нерудного сырья. Определены радиусы воздействия, интенсивность возникающих сейсмических эффектов и их экологическая направленность.

**Ключевые слова:** горнодобывающая деятельность, сейсмический эффект, резонансный эффект, здоровье человека

**Abstract:** The article presents the results of engineering and environmental surveys in the area of seismic influence of the mining activity. The work determines a radius of influence, the intensity of the resulting seismic effects and their environmental characteristics.

**Key words:** mining activity, seismic effect, resonance effect, human health.

Техногенное преобразование природной среды Центральной части России возникает в результате широкого спектра воздействий, включающих промышленные, горнодобывающие, агротехнические, водохозяйственные и другие аспекты. В результате формируются техногенные эколого-геохимические поля, как правило, патогенного характера. Помимо этого горнодобывающая деятельность человека формирует искусственные вибрации, именуемых техногенной или наведенной сейсмичностью.

Техногенная сейсмичность подразделяется на первичную и наведенную [3]. Первая объединяет сейсмические волны, возникающие при непосредственном воздействии техногенных источников. Как правило – это различные виды взрывных технологий. Интенсивность проявления первичной сейсмичности зависит от силы и пространственных особенностей техногенного воздействия, инженерно-геологических особенностей территорий. В этой связи разработана система приращения бальности землетрясений, учитываемая при проведении микросейсмического районирования. Под наведенной сейсмичностью понимается реакция приповерхностной части литосферы на динамические воздействия, имеющие техногенное происхождение.

Эффект техногенной сейсмичности изучался нами на примере Сокольско-Ситовского месторождения известняков Липецкого промышленного района.

Территория Липецкого промышленного района расположена на стыке двух тектонических структур – восточных отрогов Средне-Русской возвышенности и соответственно северо-западного фланга Окско-Донской низменности.

Ситовский участок Сокольско-Ситовского месторождения известняков расположен на правом берегу р. Воронеж, в 2,5 км к северо-востоку от г. Липецка.

Полезная толща известняков приурочена к елецкому и лебедянскому горизонту верхнего девона, средней мощности 23,8 м. Вскрыша представлена элювием известняков и песчано-глинистых пород мелового и четвертичного возраста со средней мощностью около 19 м. Сокольско-Ситовское месторождение обрабатывается двумя участками: Сокольским – ООО «Липецкое карьероуправление» и Ситовским – в данный момент разработку и эксплуатацию Сокольско-Ситовского месторождения флюсовых известняков ведет ОАО «СТАГДОК». В рельефе карбонатной толщи выделяется ряд характерных форм карстового происхождения: карстовые долины, преимущественно короткие и мелкие, карстовые ложбины, карстовые воронки.

Гидрогеологические условия месторождения предопределены близостью его к реке Воронеж и Ситовского месторождения подземных вод. На площади месторождения основным водоносным горизонтом является елецкий, приуроченный к известнякам одноименного возраста. На площади месторождения этот водоносный горизонт распространен повсеместно и приурочен к I-III пачкам известняков, мощностью до 75 м.

Добыча нерудного полезного ископаемого ведется открытым способом – отработка карьера в несколько уступов. При разработке используются взрывные технологии. Производятся массовые взрывы мощностью до 1,5 т, закладываемого взрывчатого вещества.

Интенсивность и применяемые взрывчатые вещества зависят от особенностей месторождения полезного ископаемого. Проблема наведенной сейсмичности при этом формирует определенные экологические риски. В особенности они проявляются на территории Центральной части России, где плотность населения превышает 50 чел/км<sup>2</sup>.

В непосредственной близости от рабочего борта карьера располагаются населенные пункты: Ситовка, Воскресеновка, Введенка и т.д. От жителей окрестностей поступали жалобы на деятельность горнодобывающей компании – производимые взрывные работы способствуют разрушению фундаментов надворных и жилых построек поселков. Для решения данной проблемы были проведены исследования с помощью сейсмостанций, которые производили сбор информации в районах поступления тревожных сигналов.

Сокольско-Ситовское месторождение эксплуатируется с 1972 г. в сложных инженерно-геологических и экологических условиях. Северный и восточный контура горного отвода находятся в непосредственном контакте с жилыми застройками. Ниже по потоку подземных вод в 900 м от бровки карьера располагается основной водозабор питьевого водоснабжения г. Липецка. Карьер находится во второй санитарной зоне охраны данного водозабора. Западнее и южнее к контуру примыкают промышленные зоны. Возникающие при эксплуатации месторождения сейсмические эффекты являются причиной конфликтных ситуаций между руководством компании и населением прилегающих сел.

При проведении инженерно-экологических изысканий в качестве критерия сейсмической опасности применялась скорость смещений, которая наиболее эффективно коррелируется с начальными повреждениями зданий [2, 5, 7, 8, 12, 13]. Зда-

ния и сооружения по степени их важности подразделяются на 4 класса. Здания и сооружения сел Ситовка, Воскресеновка, Введенка по степени важности относятся к IV классу. Здания и сооружения ОАО «СТАГДОК» отнесены соответственно ко II-III классам.

Максимальная интенсивность колебаний грунта при взрывах приходится обычно на 2-4 цикла колебаний [11]. При таких условиях здание, вовлеченное в колебательное движение, даже при совпадении частот вынужденных колебаний грунта и собственных колебаний не успевает получить полного эффекта условий резонанса. Тем самым при воздействии колебаний грунта от взрывов здания раскачиваются (и соответственно повреждаются) в значительно меньшей степени, чем от действия землетрясений [6, 9, 11].

Инженерно-экологическое обследование зданий и сооружений зоны влияния карьера позволило оценить их по двум категориям.

1. Здания категории А1 построены без предварительных инженерно-геологических изысканий. Качество фундаментов неудовлетворительное, в некоторых случаях фундаменты практически отсутствуют. Данная категория зданий при сейсмическом воздействии в качестве последствий характеризуется наличием больших и малых систем трещин, откалыванием слоев штукатурки.

2. Здания категории А2 выполнены на фундаментах, отвечающих требованиям строительных норм и правил. Здесь сейсмическое воздействие ощущается в виде звуковой волны, дребезжания стекол. Последствий в виде разрушений не наблюдается.

Для наблюдений использовались цифровые трехкомпонентные широкополосные сейсмические станции, позволяющие регистрировать сейсмическое волновое поле с высокой точностью.

Для изучения пространственных особенностей волнового поля массовых промышленных взрывов выполнена расстановка сейсмических станций на разных удалениях от карьера и в разных азимутах.

Расположение станций на левобережье р. Воронеж необходимо для определения фоновых сейсмических характеристик для последующего сравнения с сейсмическим воздействием взрывов. Уровень микросейсмического фона района исследований в различных диапазонах частот относительно низкий – менее 100 нм/с.

В целом, наиболее низкими значениями векторной скорости характеризуется район с. Панино, располагающийся севернее карьера. Это указывает на существенно большее значение коэффи-

циента затухания сейсмической энергии в этом направлении.

Следует также обратить внимание на наличие четко выраженных резонансных явлений в геологической среде районов удаленных станций. Резонирование представляет собой эффект увеличения сейсмического эффекта за счет суммирования с фоновыми значениями. При длительности взрыва 1 сек длительность записи составляет более 30 сек. При этом волны подавляющей части записи поляризованы в горизонтальной плоскости (отношение спектра фон + взрыв к фону) показывает, что по разным составляющим и для разных взрывов увеличение скорости колебания грунта составляет 100-300 раз относительно фона. Наблюдается это в основном на частотах до 2 Гц. На более высоких частотах это отношение существенно ниже. Спектральный состав всех составляющих волновых форм однозначно указывает на низкочастотный характер сейсмического эффекта.

Обращает на себя внимание, что спектры записей волновых форм взрывов, произведенных в

различные дни и имеющие отличительные характеристики, близки по частотным характеристикам.

Для всех зарегистрированных взрывов основная часть сейсмической энергии на горизонтальных каналах сосредоточена в узком диапазоне частот от 3,5 до 4,5 Гц. Вертикальная составляющая имеет несколько более широкий спектр. Максимальное значение суммарной векторной скорости движения частиц грунта составляет 1000 мкм/с. Это составляет 0,1 см/с, что соответственно не оказывает существенного воздействия на инженерные сооружения. Причем, на дальних расстояниях значения суммарной скорости движения частиц грунта при разных взрывах в 6-15 раз меньше, чем на ближних.

Проведенные исследования позволили выявить радиус зоны сейсмического влияния карьера – на расстоянии 10 и более км сейсмический эффект взрывов в наблюдаемом секторе незначительный, стремится к 0. Для наиболее мощных взрывов были построены схемы микросейсмического влияния (рис. 1).

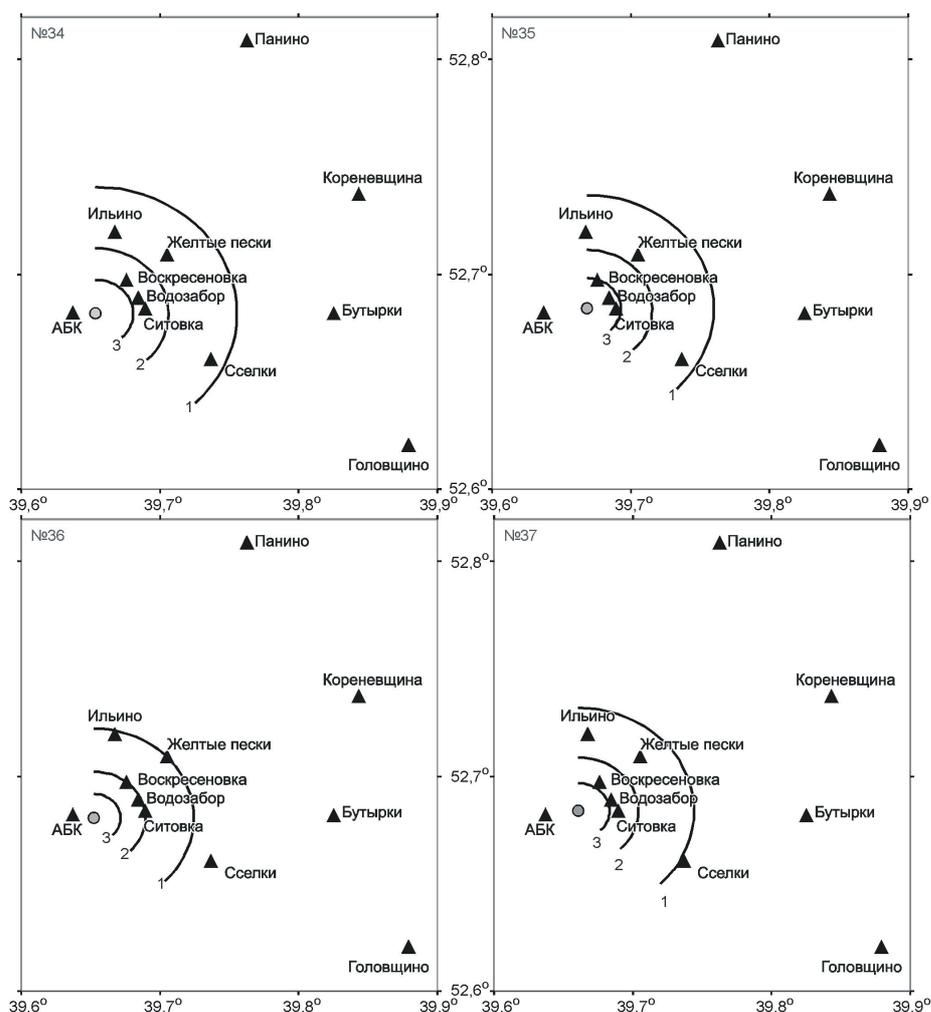


Рис. 1. Схемы микросейсмического влияния (взрывы №№ 34, 35, 36, 37)

В соответствии с распределением изосейст выявлен микросейсмический эффект изученных взрывов менее 3 баллов по 12 бальной шкале МСК-64 во всех населенных пунктах наблюдений. Собранные материалы подтверждают вывод о том, что изученные взрывы не создают критических сейсмических эффектов.

Максимальные значения сейсмического эффекта (3 балла) фиксируются в 500 метровом радиусе вокруг карьера. Согласно существующим представлениям, подобный уровень сейсмического воздействия может формировать состояние экологического утомления, снижать комфортность среды обитания [15]. В данной зоне жилые постройки отсутствуют. Население сел Ситовка и Воскресеновка, располагающихся на расстоянии 1,5-2 км от эпицентра взрывов, попадает в зону двухбалльного воздействия. Неблагоприятный психофизический эффект, связанный с сейсмичностью, может присутствовать здесь в незначительной степени.

Построенная эколого-геодинамическая схема позволяет оценить уровень экологической опасности наведенной сейсмичности в зоне разработки рассматриваемого месторождения.

Основная часть колебательной энергии от виброгенерирующих источников переносится поверхностными волнами, распространяющимися в пределах верхней части грунтовой толщи (10-15 м).

Экологические последствия сейсмических воздействий рассматриваются в работах В.Т. Трофимова, В.А. Богословского, В.К. Хмелевского и др. [4, 14]. Наблюдения в населенных пунктах, прилегающих к карьере показывают, что поле техногенной вибрации в виде микроколебаний устойчиво существует в течение суток, более высокого уровня с 8 до 24 часов и более низкого в ночное время. Максимальное воздействие фиксируется утром и вечером при оживлении движения по автодороге, проходящей через поселки и движения транспорта сельскохозяйственного назначения.

Техногенное вибрационное поле представляет собой серьезный патогенный фактор. Опасности поражения вибрационной болезнью подвергаются люди, не только работающие на предприятии, но и живущие в непосредственном контакте с постоянным повышенным вибрационным полем.

Последствия воздействия техногенного вибрационного поля на организм человека различны. Вибрационное воздействие может быть локальным (при непосредственном контакте – производство), либо общим, имеющим преимущественное значение для живых организмов, приложенное к опор-

ным поверхностям человека, в положении стоя, сидя, лежа. Горизонтальные вибрации вызывают эффект резонанса в человеческом теле уже при 1-3 Гц. Наиболее низкая устойчивость человеческого организма к вибрациям с частотой 4-8 Гц. Так, при общей вибрации колебания передаются всему телу. Общая вибрация оказывает воздействие на нервную и сердечно-сосудистую системы организма человека, а также на работу его вестибулярного аппарата. Притом, женщины более чувствительны к вибрации, чем мужчины.

Вибрации могут выступать в роли фактора модифицирующего или ускоряющего течение имеющихся у человека заболеваний [1, 10, 14]. Человек воспринимает вибраций кожными покровами своего тела от долей Гц до 800 Гц, которые обладают определенной биологической активностью. Биологическая активность вибраций и ее влияние на человека зависит от частоты, времени оказываемого воздействия и способа передачи.

В то же время сама оценка вибрационного воздействия на организм сопряжена с большими трудностями. Это объясняется, в первую очередь, тем, что резонансные частоты колебаний отдельных частей тела человека не совпадают между собой и различаются на 10-20 Гц.

Неблагоприятное воздействие виброколебаний на человека, помимо продолжительности воздействия определяется также соотношением частоты и амплитуды колебаний (рис. 2).

При больших частотах виброколебания с меньшими амплитудами оказывают столь же негатив-

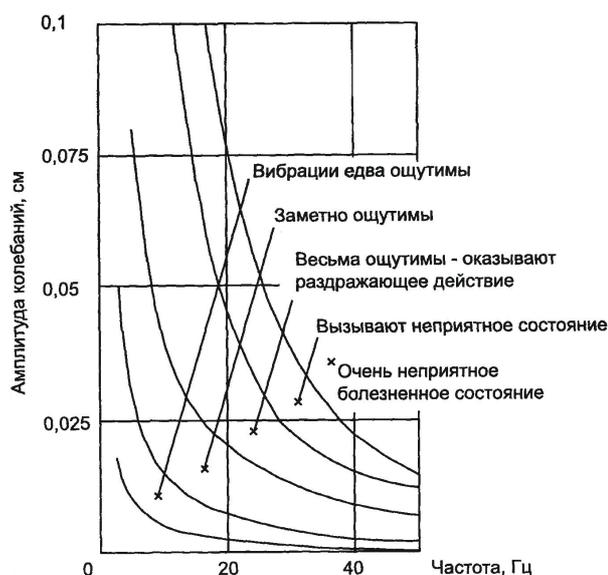


Рис. 2. Воздействие виброколебаний на организм человека (по Р. Бишопу, 1986)

ное воздействие, как и колебания меньшей частоты, но с большими амплитудами.

Таким образом, населения и инженерные сооружения, находящиеся в зоне влияния Ситовского карьера по добыче известняков испытывают определенный спектр воздействий. Сейсмический эффект от взрывов, производимых кампанией ОАО «СТАГДОК», практически не несет разрушительных и пагубных последствий, так как все зафиксированные и проанализированные результаты не превышают допустимых показателей. 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 в данном случае колебания составляют 1-6 Гц, являются низкочастотными и фиксируются в наблюдаемых населенных пунктах, находящихся в непосредственной близости к месту проведения буровзрывных работ. Особенности влияния виброколебаний на организм представлены на рис. 2.

Частотность колебаний, которую начинает ощущать человек, находится на первом пике и составляет 5 Гц. Данная частотность фиксируется только на самом карьере и прилегающем к нему заводууправлении. Население близлежащих сел попадает в зону «едва ощутимых вибраций». Следовательно, можно сделать вывод, что вибрационные характеристики в исследуемом районе могут оказывать негативное воздействие на здоровье людей, только при возникновении резонансного эффекта.

Анализ экологических последствий проведения буровзрывных работ на карьерах нерудного сырья позволяет сделать следующие выводы: 1) изученные взрывы не создают критических сейсмических эффектов; 2) обоснована 500 метровая зона экологической опасности проведения буровзрывных работ; 3) основное затухание сейсмического эффекта наблюдается в радиусе 3 километров; 4) радиус зоны сейсмического воздействия составляет 10 км. Разрушению подвергаются старые здания, построенные на слабых фундаментах без инженерно-геологического обоснования строительства; 5) негативные психофизические последствия сейсмических воздействий у населения фиксируются в трехкилометровой зоне влияния карьера; 6) це-

лесообразным является проведение специальных медицинских исследований, определяющих влияние малых сейсмических вибраций на ДНК молекул живых организмов, психологическое состояние, возможности формирования резонансных явлений в организмах людей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н. А. Экология человека и концепция выживания / Н. А. Агаджанян, И. А. Волошин, Е. В. Евстафьева. – М.: Изд-во ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2001. – 240 с.
2. Адушкин В. В. Геомеханика крупномасштабных взрывов / В. В. Адушкин, А. А. Спивак. – М.: Недра, 1993. – 319 с.
3. Адушкин В. В. Техногенные процессы в земной коре (опасные и катастрофические) / В. В. Адушкин, С. Б. Турунтаев. – М.: ИНЭК, 2005. – 252 с.
4. Богословский В. А. Экологическая геофизика: учеб. пособие / В. А. Богословский, А. Д. Жигалин, В. К. Хмелевской. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 256 с.
5. Геоэкологические последствия массовых химических взрывов на карьерах / В. В. Адушкин [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2000. – № 6. – С. 363-554.
6. Ершов И. А. О плотности сейсмической энергии колебаний грунта при взрывах / И. А. Ершов, С. В. Медведев // Труды ИФЗ АН СССР. – М., 1964. – № 33(200). – С. 50-58.
7. Ипатов Ю. И. К исследованию зависимости сейсмического воздействия взрыва на окружающую среду от природных и техногенных факторов / Ю. К. Ипатов // Геофизика и математика. – Пермь, 2001. – С. 355-358.
8. Кутузов Б. Н. Взрывные работы / Б. Н. Кутузов. – М.: Недра, 1988. – 284 с.
9. Медведев С. В. Сейсмика горных взрывов / С. В. Медведев. – М.: Недра, 1964. – 188 с.
10. Медицинская экология: учеб. пособие / А. А. Королева [и др.]. – М.: Академия, 2003. – 192 с.
11. Миронов П. С. Взрывы и сейсмобезопасность сооружений / П. С. Миронов. – М.: Недра, 1973. – 168 с.
12. Садовский М. А. Простейшие приемы определения сейсмической безопасности / М. А. Садовский. – М.: ИГД ММ СССР, 1946. – 28 с.
13. Садовский М. А. Сейсмический эффект взрывов / М. А. Садовский. – М., 1939.
14. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / В. Т. Трофимов [и др.]. – М.: Ноосфера, 2006. – 720 с.
15. Трофимов В. Т. Экологическая геология / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 415 с.

Репина Елена Михайловна  
преподаватель кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. 8 (4732) 208-289, 89155440648

Косинова Ирина Ивановна  
доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. 8 (4732) 208-289

Repina Yelena Mikhailovna  
Lecturer of the chair of ecological geology of the geological department of the Voronezh State University, Voronezh, tel. 8 (4732) 208-289, 89155440648

Kosinova Irina Ivanovna  
Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Head of the chair of ecological geology of the geological department of the Voronezh State University, Voronezh, tel. 8 (4732) 208-289