

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 1 / 2014



СОДЕРЖАНИЕ

Аллахвердиева З.Г. СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ГОРОДА ГЯНДЖИ.....	3
Голик В.И., Бурдзиева О.Г., Невский Л.Н. МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЭКОЛОГИЮ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА	8
Геодакян Э.Г., Оганесян С.М., Карапетян Дж.К. К ПРОБЛЕМЕ ИЗУЧЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ОЧАГОВОЙ И БЛИЖНЕЙ ЗОНАХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	16
Григорян В.Г. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ЗАТУХАНИЯ УСКОРЕНИЯ ГРУНТА.....	23
Заалишвили В.Б., Одишария А.В., Тимченко И.Э., Отинашвили М.Г., Гогмачадзе С.А., Заалишвили З.В. ИНЖЕНЕРНОЕ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 14 ДЕКАБРЯ 2000 г.	30
Заалишвили В.Б., Кранцфельд Я.Л. ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА	39
Чотчаев Х.О., Шепелев В.Д. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ (МПВ) И ГЕОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРЕЗА РОКСКОГО ТОННЕЛЯ	51

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

БОРИСУ КАРАПЕТОВИЧУ КАРАПЕТЯНУ – 90!	63
--	----

CONTENTS

Allahverdieva Z.G. SEISMIC HAZARD OF GANJA CITY	3
Golik V.I., Burdzieva O.G., Nevsky L.N. MECHANISM OF SEISMIC PROCESSES INFLUENCE AT ORE MINING REGION	8
Gyodakyan E.G., Hovhannisyan S.M., Karapetyan J.K. TO THE PROBLEM OF INVESTIGATION OF ABNORMAL APPEARANCE OF SEISMIC IMPACTS IN NEAR-SOURCE AND NEAR-FIELD ZONES OF STRONG EARTHQUAKES.....	16
Grigoryan V.G. COMPARATIVE ESTIMATES OF GROUND ACCELERATION DAMPING EFFECT	23
Zaalishvili V.B., Odishariya A.V., Timchenko I.E., Otinashvili M.G., Gogmachadze S.A., Zaalishvili Z.V. ENGINEERING MACROSEISMIC SURVEY OF EPICENTRAL AREA OF THE EARTHQUAKE ON 14 DECEMBER 2000	30
Zaalishvili V.B., Krantsfeld J.L. GEOPHYSICAL BASIS OF ENGINEERING EARTHQUAKE PROTECTION OF RESPONSIBLE CONSTRUCTION OBJECTS	39
Chotchaev Kh.O., Shepelev V.D. INTEGRATION OF SEISMIC SURVEY AND GEOLOCATION SENSING METHODS FOR ALLOCATION OF GEOTECTONIC AND GEOTECHNICAL FEATURES OF THE ROKI TUNNEL CROSS SECTION	51

JUBILEES

THE 90th BIRTHDAY OF BORIS KARAPETOVICH KARAPETYAN	63
--	----

УДК 550.34

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ГОРОДА ГЯНДЖИ

© 2014 З.Г. Аллахвердиева, диссертант

Национальная Академия Наук Азербайджана Республиканский Центр Сейсмологической Службы, AZ1001, Баку, Азербайджан, ул. Рафидейли, 9,
e-mail: seys@azeurotel.com

Изучение сейсмического риска города Гянджа на наш взгляд имеет большое значение, так как этот город является вторым промышленным центром республики. Для имеющихся очагов сильных землетрясений в районе г. Гянджи на основе магнитуды вероятного максимально сильного землетрясения по эмпирической формуле М.В. Шебалина для разных глубин и расстояний был вычислен сейсмический эффект. Результаты показывают, что очаги, расположенные на районе Гек-гель и Зурнабад с сейсмической точки зрения наиболее опасны. Вероятность создания опасного сейсмического эффекта от Дашкесанских, Гедбекских и Келбаджарских очагов мала.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, сейсмологический разрез.

Детальное исследование уровня сейсмической опасности второго большого промышленного города Азербайджанской Республики Гянджи с населением более 300000 человек имеет очень большое значение.

Регион обладает сложным геологическим строением. Пересечения продольных и поперечных глубинных разломов стали причиной возникновения сложного блокового строения территории [Геология Азербайджана..., 2005].

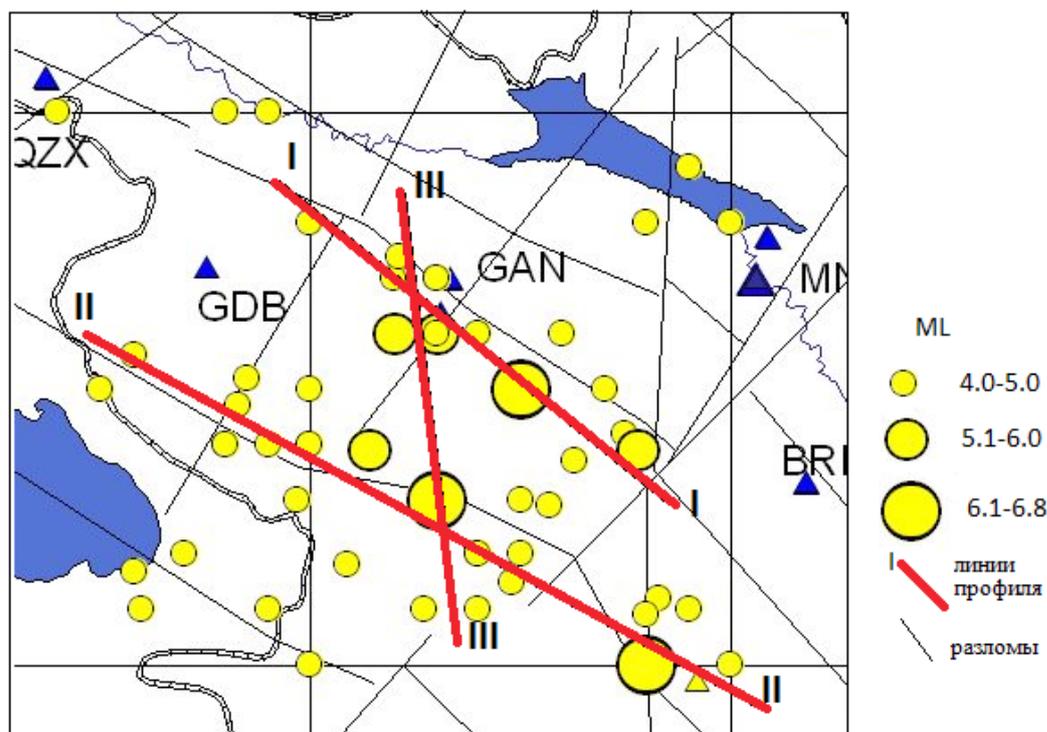


Рис. 1. Карта эпицентров известных землетрясений большой и малой амплитуды ($M \geq 4.0$) в городе Гянджа.

С целью изучения сейсмической опасности территории были проанализированы землетрясения, произошедшие в регионе в течение 427-2011 годов, и была составлена карта эпицентров известных землетрясений [Ахмедбейли и др., 1991; Новый каталог сильных землетрясений..., 1977; Землетрясения в СССР, 1976-1982; Каталог землетрясений ..., 2013] с магнитудой ($M \geq 4.0$) (Рис. 1).

Из карты видно, что эпицентры землетрясений наблюдаются в южном и юго-восточном направлениях от города Гянджа.

С целью изучения особенностей распределения по глубине очагов землетрясений в данной зоне были построены сейсмологические разрезы по профилям I-I, II-II и III-III указанным на карте (рис. 2-4).

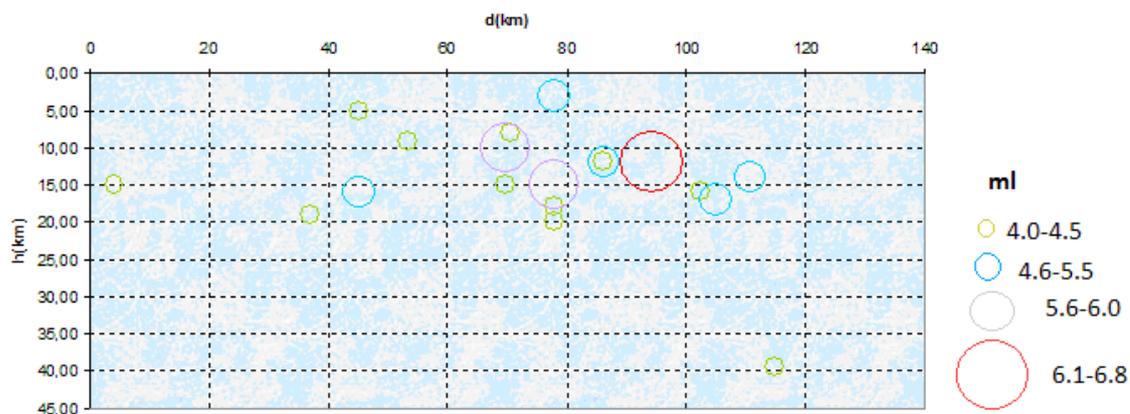


Рис. 2. Сейсмологический разрез по линии профиля I-I

Как видно из профиля I-I, землетрясение, произошедшее непосредственно вблизи Гянджи с амплитудой $ml \geq 6.0$, располагается на глубине 5-15 км. А разрез, построенный по профилю II-II, отражает в себе распределение по глубине Гедабекского и Дашкесанского очагов.

Анализы профиля показывают, что слой, возбуждавший сейсмичность на данной территории, располагается в интервале 5-25 метров глубины. В данной области эпицентры сильных землетрясений располагаются на глубине $h=10-20$ км. На сейсмологическом разрезе, построенном по линии профиля III-III, направленном с юга на север, на протяжении исследуемой территории видно, что основной сейсмически активный слой располагается на глубине 10-20 км.

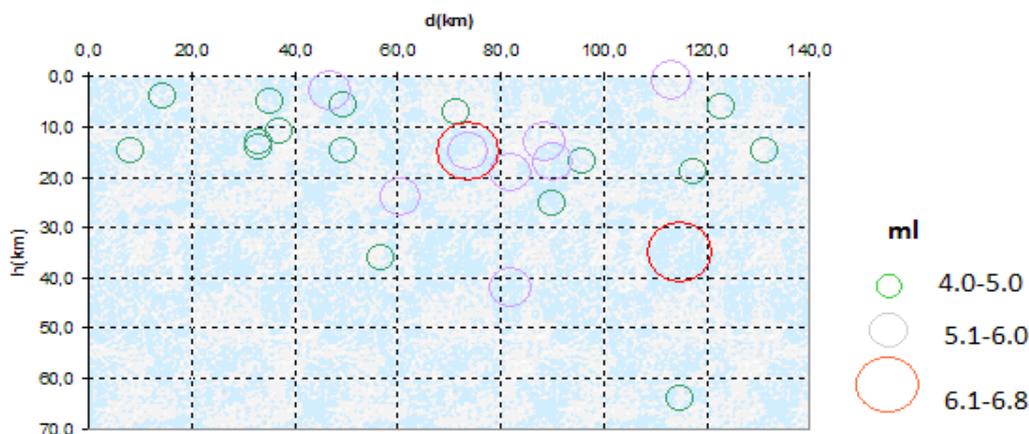


Рис. 3. Сейсмологический разрез по линии профиля II-II

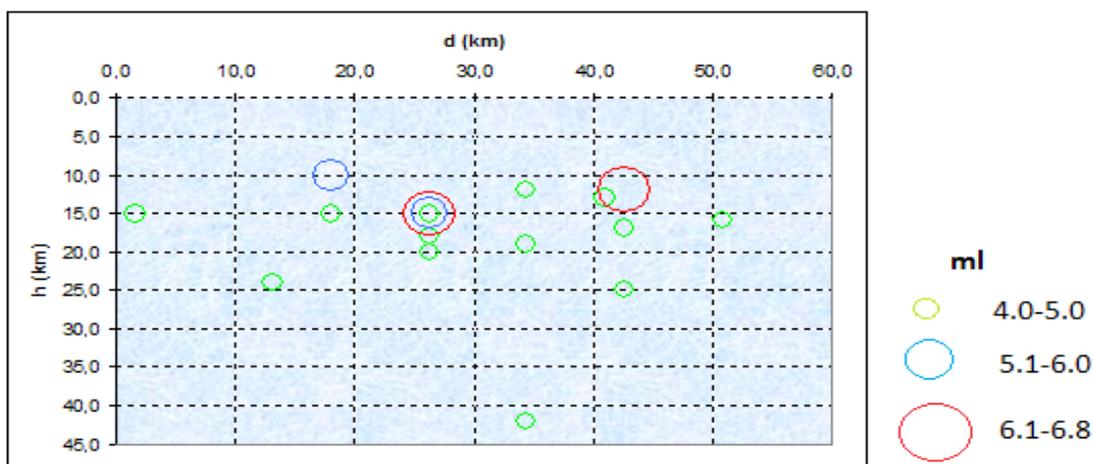


Рис. 4. Сейсмологический разрез по линии профиля III-III

Расположение эпицентров сильных землетрясений на малой глубине создает большой сейсмический эффект на поверхности земли. Для того, чтобы определить максимальный потенциальный сейсмический эффект, в первую очередь необходимо определить магнитуду вероятного максимально сильного землетрясения.

Известно, что причиной возникновения землетрясений является напряжение, возникающее в результате контрастных движений в зонах переломов. В неактивных зонах перелома подобные контрастные движения не наблюдаются. Поэтому не происходит мгновенных перемещений, которые могут явиться причиной землетрясений. Одним из важных вопросов современной сейсмологии является определение места этого активного перелома, то есть, иными словами, места потенциальных очаговых зон и магнитуду максимальных землетрясений.

В данной области были осуществлены многочисленные исследования, и для решения вопроса были сделаны предложения. Например, можно показать метод переноса графика повторения землетрясений. Этот метод был осуществлен многими исследователями [Мәммәдлі, 2010; Полякова и др., 1993].

Другой способ – это предложенный Я.В. Ризниченко метод, основу которого составляет зависимость $M_{\max} = f(F_i)$ между магнитудой максимально сильных землетрясений M_{\max} и геолого-физическими особенностями региона.

В целом же, все существующие способы являются различными модификациями генетического или же сейсмотектонического метода, поэтому не лишены их недостатков.

С этой точки зрения в качестве передового подхода к вопросу можно оценить метод Т.Я. Мамедли «определение зон, создающих сейсмичность на основе слабых землетрясений» [Мәммәдлі, 2010]. Посредством данного метода автор определил место активных зон переломов для территории Азербайджана, охарактеризовал их в качестве потенциальных очаговых зон, и определил длину каждой очаговой зоны и магнитуду вероятного максимального землетрясения M_{\max} (рис. 5).

В расчете максимального сейсмического эффекта была использована оценка Т.Я. Мамедли магнитуды M_{\max} максимальных потенциально сильных землетрясений.

Известно, что создаваемый землетрясением сейсмический эффект зависит от его магнитуды, глубины очага землетрясения и расстояния до пункта наблюдения. Эта зависимость следующим образом используется посредством эмпирической формулы Н.В. Щебалина [Нәсәнов, Мәммәдлі, 2006]:

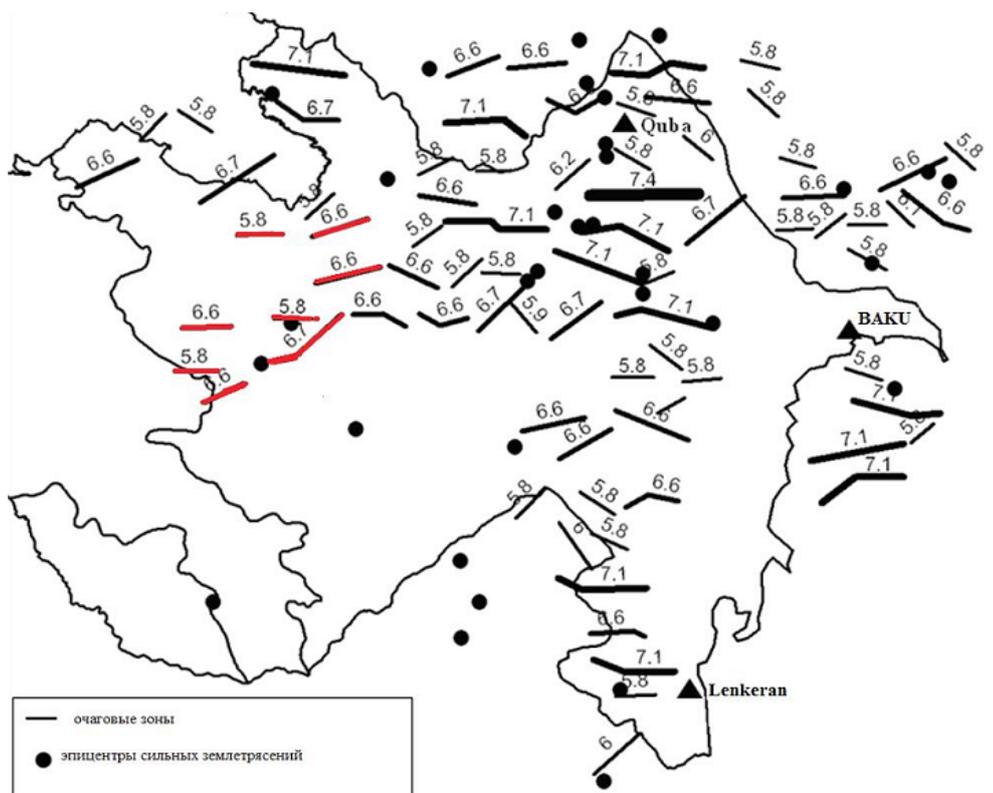


Рис. 5. Потенциальные очаговые зоны землетрясений, определенные в Гянджинском регионе.

$$I_i = bM - v \lg(\Delta^2 + h^2)^{0.5} + C \quad (1.1)$$

Принята для горных регионов Азербайджана в виде следующей формулы [Нәсәнов, Мәммәдлі, 2006]:

$$I_0 = 1.5M - 3.3 \lg(\Delta^2 + h^2)^{0.5} + 2.7 \quad (1.2)$$

Места потенциальных очаговых зон на исследуемой территории (Δ), их глубина (h) и максимальная амплитуда (M_{\max}) известны, поэтому, максимальный сейсмический эффект, который может иметь место в городе Гяндже, определяется по формуле (1.2).

Расчеты показывают, что потенциальные очаговые зоны, близко расположенные к Гяндже, могут создать в городе 8-ми балльную сейсмическую активность.

Заключение

Исследуя сейсмичность района, на основании существующих каталогов землетрясений и в результате анализа карт эпицентров и сейсмологических разрезов, было определено, что слой, создающий основную сейсмичность, располагается в глубинном интервале 5-25 метров.

Очаги в Кельбаджарском районе и на территории Джейрангёль обладают потенциалом создания сейсмического эффекта в 6 баллов, очаги в Тертерском, Мингечевирском, Гедабекском и Зурнабадском регионах – максимально в 7 баллов, а очаги, расположенные вблизи Гянджи – сейсмичность в 8-9 баллов.

Отметим, что в 1139 году в Гейгельском очаге произошло землетрясение магнитудой в $M=6.7$, и проявилось в интенсивности $I_0=9$ баллов.

Литература

1. Ахмедбейли Ф.С., Гасанов А.Г., Кулиев Ф.Т., Панахи Б.М. Новые схемы областей возникновения очагов сильнейших землетрясений и сейсморайонирования территории Азербайджана // Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана 1987 г. Баку: Элм, 1991. С. 62-68.
2. Геология Азербайджана, том IV, Тектоника, Баку, Издательство «Nafta-Press», 2005, 506 с.
3. Землетрясения в СССР. М.: Наука, 1976. – 1977. – 1978. – 1979. – 1980. – 1981. – 1982.
4. Каталог землетрясений в Азербайджане. РЦСС НАНА, 2013.
5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.-М.: Наука, 1977. – С. 69-170.
6. Полякова Т.П., Медведева Н.С., Степанова М.Б. Оценка M_{max} и сейсмологической обстановки методом сканирования / Сейсмичность и сейсмическое районирование северной Евразии. М., 1993, с. 51-56
7. Нәсəнов А.Н., Мəммədли Т.У. Seysmologiyanın əsas elementləri. Bakı, «Elm», 26, 171 səh. 2006.
8. Мəммədли Т. У. Azərbaycan ərazisinin zəif seysmikliyi və onun müasir geodinamika ilə əlaqəsi. Bakı, «Elm», 2010, 252 səh.

SEISMIC HAZARD OF GANJA CITY

© 2014 Allahverdieva Z.G. dissertator

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center,
AZ1001, Republic of Azerbaijan, Baku city, 9, Nigar Rofibeyli Str.,
e-mail: seys@azeurotel.com

Investigation of seismic risk of Ganja city in our opinion is of a great importance, since this city is the second industrial center of the country. The seismic effect was calculated for existing sources of strong earthquakes in the area of Ganja city -based on the magnitude of probable maximum strong earthquake using the empirical formula of M.V. Shebalin for various depths and distances. The results show that focal points located in the areas Gek-gel and Zurnabad are most hazardous from seismic point of view. Probability of hazardous seismic effect occurrence from Dashkesan, Gedebeksk, Kelbadzhar focal points is small.

Keywords: seismic hazard, seismological cross section, epicenter.

УДК 504.55.054:662 (470.6)

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЭКОЛОГИЮ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

© 2014 В.И. Голик, д.т.н., О.Г. Бурдзиева, к.г.н., Л.Н. Невский

Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: olgaburdzieva@mail.ru.

Уточнено понятие о геологической среде горнодобывающего региона. Дана характеристика активности неотектонических и других эндогенных геологических процессов, объекта добычи и переработки полиметаллических руд. Показано, что в условиях высокой сейсмической опасности экологические проблемы территории значительно усугубляются. Делается вывод о необходимости учета возможных последствий влияния сейсмических воздействий при оценке интегральной природно-техногенной опасности горнодобывающего производства.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, экология, горнодобывающий регион.

Экологические проблемы возникли как результат естественного развития человеческого общества, когда взаимоотношения с окружающей природой пришли в противоречие с новыми условиями техногенного происхождения.

Под геологической средой имеется в виду обстановка, взаимосвязанная с каким-то конкретным объектом. В РСО-Алания имеются ряд горнодобывающих предприятий и перерабатывающие металлургические заводы «Электроцинк» и «Победит». Это и сужает границы геологической среды до глубины освоения литосферы человеком и расширяет, дополняя категорию новыми элементами – результатами жизнедеятельности человека, например, сточные воды и отвалы горных предприятий.

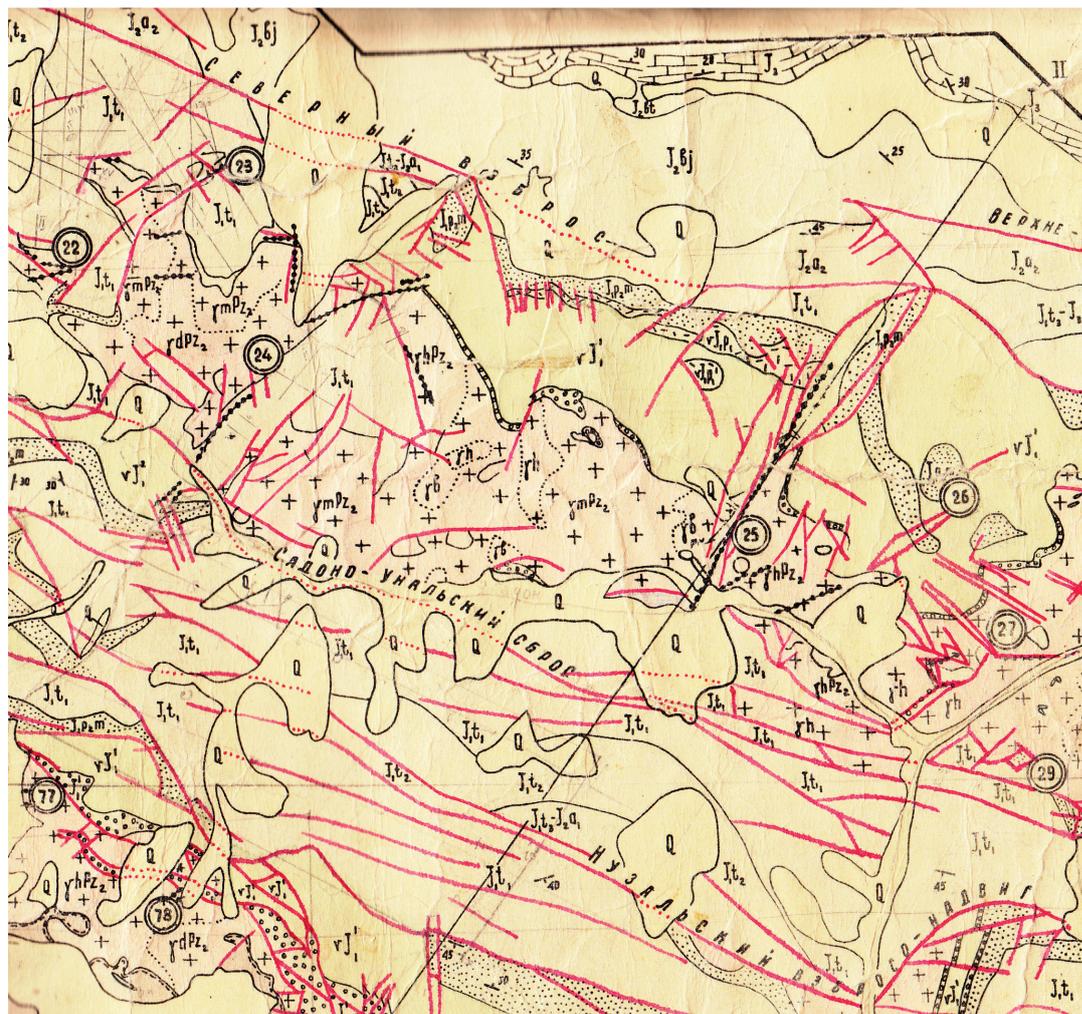
На практике используются понятия, которые суживают рассмотрение геологической среды до некоторого конкретного объема верхней части земной толщи, обусловленного радиусом влияния инженерного сооружения.

Под геологической средой подразумевается верхняя часть литосферы с ее элементами (горные породы, флюиды, рельеф, и др.), которая описывается характеристиками свойств, процессов и состояния, вмещает объекты и взаимодействует с ними.

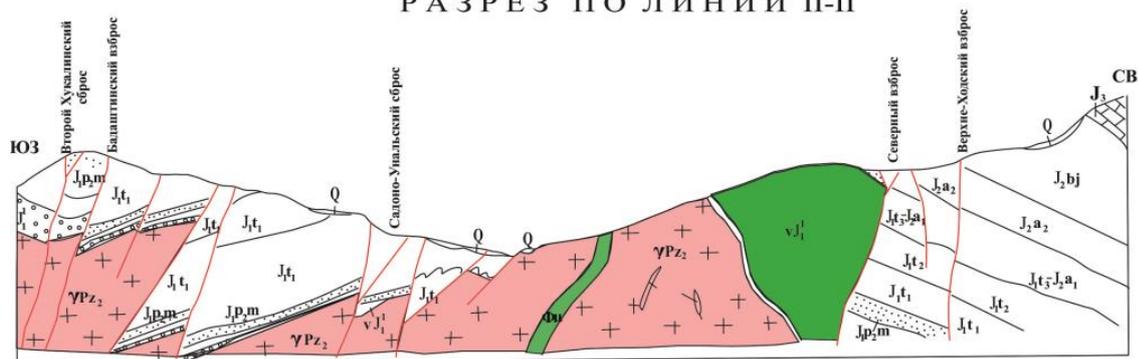
Наиболее важные факторы геологической среды, которые влияют на состояние объектов:

- тип, структура, текстура, физико-механические, петрофизические и геохимические свойства горной породы;
- нарушенность и неоднородность породного массива;
- параметры гидрогеологических свойств и процессов;
- эндогенные и экзогенные процессы, тепловое поле;
- рельеф земной поверхности;
- геодинамическая активность, сейсмичность.

Для решения задач обеспечения геоэкологической безопасности размещения горнопромышленных объектов под геологической средой целесообразно понимать



РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ П-П



Условные обозначения

Q - Аллювиальные, делювиальные, оползневые рыхлые отложения	J _{1t2} - Аргиллиты частыми пластами алевритов и песчаников	Фп - Порфириды, дайки	Месторождения и рудопроявления 22 - Кюносское 23 - Северное 24 - Эгдское 25 - Садоносское 26 - Нозауское 27 - Нузальское 29 - Нижне-Бадское 77 - Сурхооское 78 - Урдонское
J ₃ - Известняки	J _{1t1} - Аргиллиты	УРZ ₂ - Граниты Садоносского типа	
J _{2bj} - Глины	J _{1p2m} - Песчаники и алевриты с конгломератами в основании (Мизурская свита)	— — — — — Разломы	
J _{2a2} - Песчаники, аргиллиты	vJ ₁ ¹ - Лавы порфиритов, агломераты, туфы, туфопесчаники (Осетинская свита)	○ - Полиметаллические месторождения и рудопроявления	
J _{1t1} -J _{2a1} - Аргиллиты с пластами алевритов и песчаников (свита Гули)	J ₁ ¹ - Конгломераты, траппы с линзами графита и песчаников		

Рис. 1. Отсканированная часть геологической карты горной территории РСО-Алания (район Садоносского месторождения), масштаб 1:50000 (составители С.М. Тиболов, Е.Г. Рыпинская, Л.Н. Невский)

верхнюю часть литосферы, которая находится под воздействием хозяйственной деятельности человека.

Оценка параметров геологической среды включает в себя:

- определение стабильности и устойчивости геологической обстановки;
- установление критериев оценки и прогноза устойчивости;
- обоснование предельно допустимых норм критериев оценки и прогноза.

Геологическая среда республики РСО-Алания относится к центральному сектору Большого Кавказа, равнинная часть располагается по обоим берегам р. Терек. Она характеризуется сложным строением рельефа и разнообразием ландшафтных условий.

В связи со сложностью геологического строения и геоморфологических условий, инженерно-геологические особенности территории отличаются разнообразием и широким развитием опасных геологических процессов. С этим связана и повышенная дискретность массивов в районе Садонского месторождения (рис. 1).

Высокая активность неотектонических и других эндогенных геологических процессов является причиной повышенной сейсмичности территории, которая определена равной в среднем IX баллам для горных районов республики, и VIII баллам – для большей части равнинных районов.

Основными видами экзогенных геологических процессов являются выветривание, обвально-осыпные и эрозионные процессы, просадка грунтов, селевые потоки, карст и оползни.

Основным экологически негативным природным фактором здесь является развитие опасных геологических процессов (экзогенных и эндогенных), а их интенсивность может служить индикаторным признаком геоэкологического неблагополучия (рис. 2). В этой связи достаточно отметить трагический сход ледника Колка 20 сентября 2002 года в РСО-А [Заалишвили, Невская, 2004; Заалишвили и др., 2004].

Комплекс возникающих в процессе взаимодействия человека и природы особых образований – систем обозначают термином «природно-техническая система» (ПТС).

ПТС представляет собой целостную систему, упорядоченную в пространственно-временном отношении совокупностью взаимодействующих компонентов, включающих орудия, продукты и средства труда, естественные и искусственно измененные природные тела и информационно-энергетические поля.

Горнодобывающее предприятие в процессе функционирования взаимодействует с природными системами, водоносными горизонтами и поверхностными водными объектами, почвами, растительностью, приземным слоем атмосферы и естественными источниками энергии.

Изучение их основных компонентов и вещественно-энергетических связей служит основой оптимального управления горнодобывающего предприятия, а также прогноза и контроля состояния природной среды, что обеспечивает рациональное, экономически и экологически сбалансированное освоение природных ресурсов.

Типичными представителями ПТС в сфере добычи минеральных ресурсов являются объекты эксплуатации и переработки полиметаллических руд пос. Садон и г. Владикавказа.

Хвостохранилища Садонского СЦК были в разное время сформированы в процессе активной добычи и переработки руд в РСО-Алания, без альтернатив выбо-

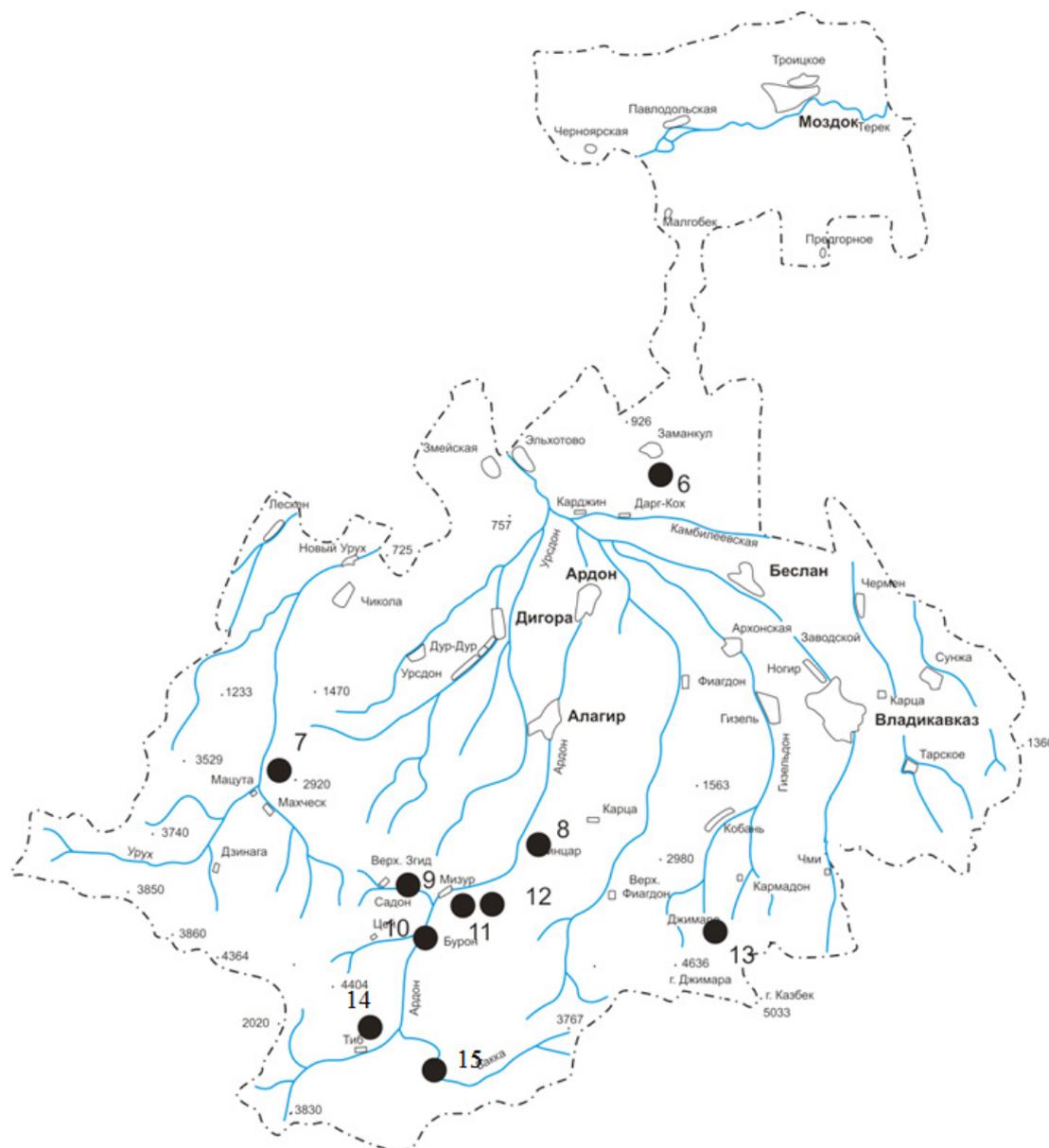


Рис.2. Карта потенциальных источников чрезвычайных ситуаций: 6 – Заманкул; 7 – Нижний Нар; 8 – Зинцар; 9 – Садон; 10 – Нузал; 11 – Мизур; 12 – Луар, 13 – Даргавс; 14 – Тиб; 15 – Закка

ра участков земной коры для размещения экологически опасных отходов [Гос. доклад..., 2011].

Активизация опасных геологических процессов на территории РСО-Алания, обуславливающих особенности формирования чрезвычайных ситуаций не исключена.

Главная сейсмическая опасность связана с теми разломами или зонами ВОЗ, которые расположены близко к городу Владикавказ (рис. 3).

Опасность для территории Северной Осетии представляют Владикавказская, Моздокская, Сунженская и Терская зоны ВОЗ (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики зон возможных очагов землетрясений

№ (согласно рис. 3)	Зона ВОЗ	Магнитуда	Глубина, км
1	Моздокская восточная	5.0	10
1a	Моздокская западная	4.0	5
2	Терская	4.5	5
3	Сунженская северная	6.1	15
4	Сунженская южная (западная ветвь)	6.5	15
4a	Сунженская южная (восточная ветвь)	6.1	15
5	Владикавказская (западная ветвь)	6.5	15
5a	Владикавказская (восточная ветвь)	7.1	20
6	Нальчикская	5.5	10
7	Мизурская	6.2	15
8	Главного хребта	6.2	15
9	Бокового хребта	6.3	15
10	Кармадонская	6.5	15

ЗОНЫ ВОЗ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ
(Е.А.Рогожин, 2007)

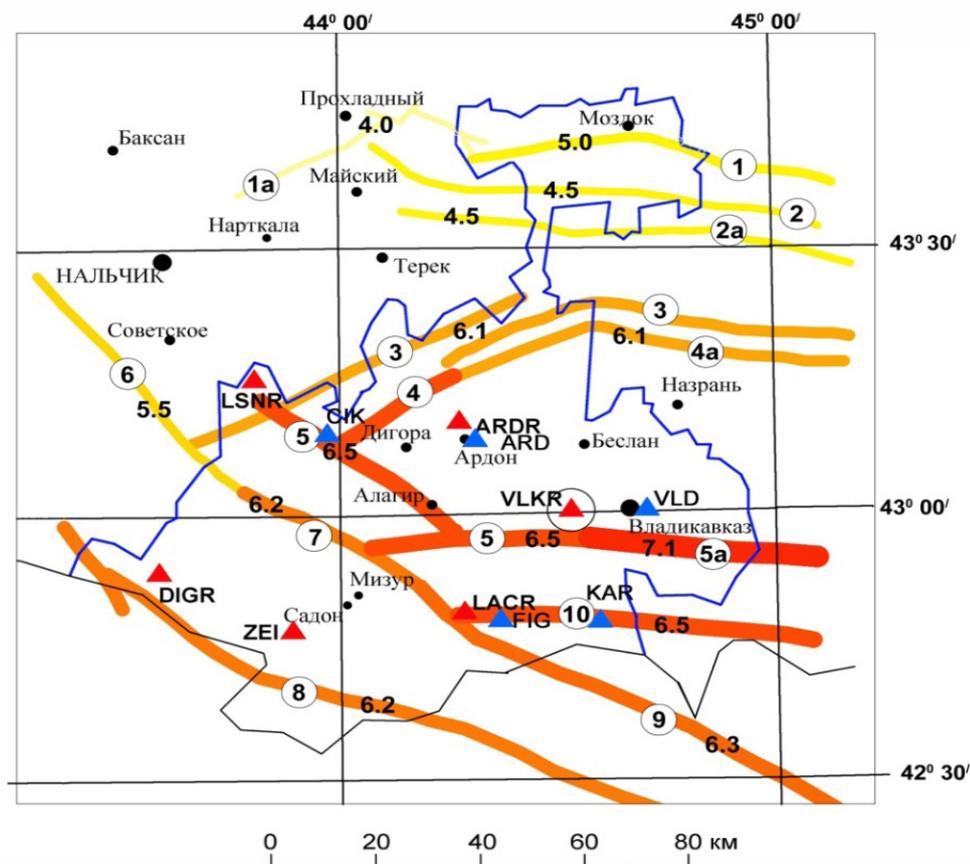


Рис.3. Карта зон возможных очагов землетрясений на территории Республики Северная Осетия-Алания

Условные обозначения

- ▲ - станции ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А
- ▲ - станции ГС РАН

На основе прогноза землетрясений для горнодобывающего региона место расположения опасных горных объектов может быть уточнено.

Источниками рисков являются все виды природных и техногенных процессов. С точки зрения их распространения по территориям и регионам наиболее опасными природными явлениями являются землетрясения (около 20% территории подвержено воздействию землетрясений интенсивностью 7 баллов и более).

Помимо своего прямого разрушительного воздействия, землетрясение может стать причиной экологической катастрофы на территориях, где расположены промышленные предприятия, производящие или перерабатывающие опасные химические вещества.

Отходы добычи и переработки создают экологически напряженную обстановку в регионах и способствуют деградации природной среды. Экологическая емкость биосферы горных систем по сравнению с равнинными территориями ограничена, поэтому техногенное вмешательство в систему горных ландшафтов требует взвешенного подхода.

Территория Северной Осетии расположена в зоне высокой сейсмичности. Она включает густо расположенные разломы различных ориентаций и потенциала (рис. 3). Здесь сотрудниками ИФЗ РАН с помощью методов палеосейсмологии выявлены проявления исторических землетрясений с 9-10 балльной интенсивностью [Заалишвили, Рогожин, 2010]. В 2007 г. сотрудниками ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А были составлены вероятностные карты сейсмической опасности территории РСО-А. Согласно картам сейсмической опасности вся южная часть Республики расположена (рис. 4) в пределах IX-балльной интенсивности [Заалишвили и др., 2011].

Кроме того, сейсмический риск – наибольший именно в Северной Осетии, т. к. здесь при высокой сейсмической опасности самая высокая на Северном Кавказе плотность населения и много опасных производств. При этом динамическое поведение грунтов может значительно усугубить проявление любого даже умеренного сейсмического события [Заалишвили и др., 2006; Заалишвили и др., 2008].

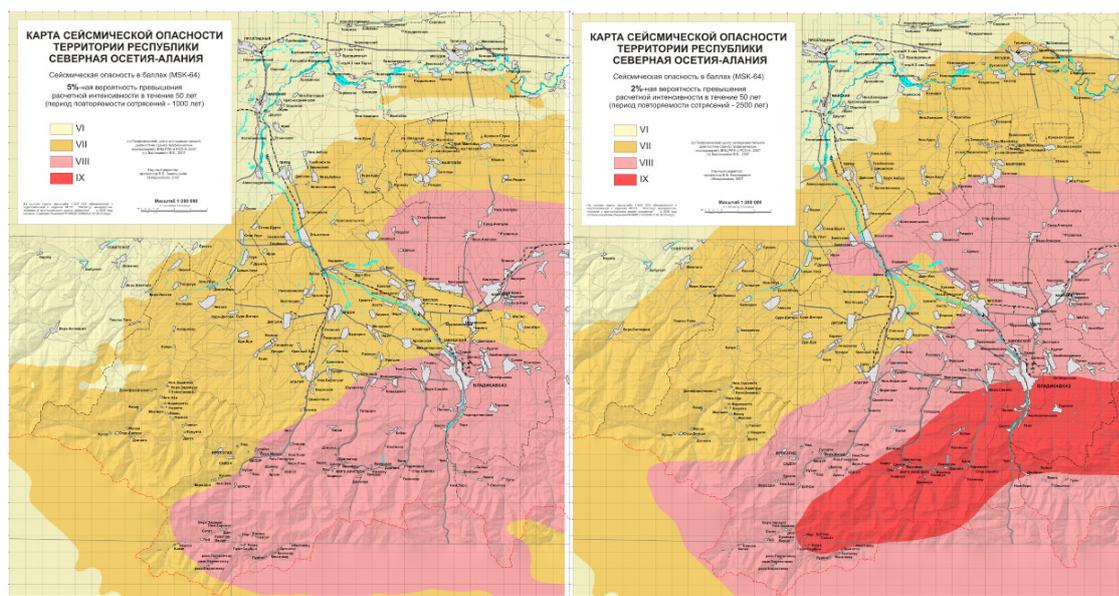


Рис. 4. Вероятностная карта сейсмической опасности в интенсивностях с вероятностью превышения 5% и 2%

Даже при относительно частых умеренных землетрясениях интенсивностью V-VI баллов площадка хвостохранилища будет подвергаться неравномерному сейсмическому воздействию. При этом природный объем раствора с металлами или их солями увеличится, ускорится выщелачивание минералов, повысится объем проникновения токсикантов в почву и расширится площадь загрязнения.

При сильных землетрясениях интенсивностью VIII-IX баллов процессы химических реакций в массиве хвостохранилища значительно ускорятся, а последствия, формируемые вторичной опасностью, могут во много раз превысить негативное воздействие от первичных источников сейсмической опасности [Бурдзиева, Заалишвили, 2009; Бурдзиева и др., 2010а, б].

При сильных землетрясениях здания и сооружения промышленных предприятий с опасными производствами, в большей степени подвергаются разрушениям под влиянием активных химических процессов. Это подвергает население города в окрестностях, например, заводов «Электроцинк» и «Победит» высокому риску.

Город Владикавказ испытывает последствия химического загрязнения токсичными тяжелыми металлами, хранящимися на его территории в виде хвостов обогащения и металлургии с 1900 г. Между параметрами техногенного загрязнения геологической среды и состоянием здоровья горожан, нами установлена корреляционная связь, пригодная при разработке реабилитационных мероприятий.

При оценке интегральной природно-техногенной опасности горнодобывающего производства необходимо учитывать последствия сейсмических явлений в земной коре. Рекомендация может иметь практическое значение при переносе металлургических заводов Владикавказа в более безопасное место.

Литература

1. Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Исследование влияния хвостохранилища на окружающую среду в условиях высокой сейсмической опасности // Труды III Кавказской международной школы семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 24-26 сентября, 2009. – Владикавказ: УРАН ЦГИ, 2009, – С. 355-360.
2. Бурдзиева О.Г., Шевченко Е.В., Ермишина Е.Б. Механизм возникновения техногенных катастроф под влиянием горного производства // Международная научно-практическая конференция «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа». Владикавказ: УРАН ЦГИ, 2010а, – С. 157-161.
3. Бурдзиева О.Г., Голик В.И., Заалишвили В.Б. Экологические последствия хранения отходов добычи и переработки руд в РСО-Алания. Проблемы и пути их решения. // Вестник МАНЭБ, Том 15, №4 (доп. выпуск) – Санкт Петербург: 2010б, С. 17-22.
4. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Республики Северная Осетия-Алания в 2010 г.» // Владикавказ.: Мин. ООС и ПР РСО-А, 2011. – 110 с.
5. Заалишвили В.Б., Невская Н.И. Взаимосвязь различных факторов, в том числе, сейсмических событий со сходом ледника колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра. 2004. Т. 4. №3. С. 51-56
6. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Харебов А.К. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра. 2004. Т. 4. №3. С. 58-64.

7. Заалишвили В.Б., Бегус Е.В., Громова Н.А. Макросейсмическое проявление землетрясения 7 января 2005 года на территории г. Владикавказа // Труды молодых ученых. – Владикавказ, № 1, 2006, С.186-191.

8. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В. Особенности динамического поведения грунтов территории г. Владикавказа // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. № 2. – М.: ВНИИГТПИ, 2008. с.67-70.

9. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // Сб. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук. 2010. С. 251-262.

10. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. № 1. Владикавказ: ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А. 2011. С. 48-58.

MECHANISM OF SESMIC PROCESSES INFLUENCE AT ORE MINING REGION

**© 2014 V.I. Golik, Doctor Sc., Prof., O.G. Burdzieva,
Candidate (Geographic), L.N. Nevsky**

Center of Geophysical Investigations VSC RAS, Russia, Vladikavkaz,
e-mail: olgaburdzieva@mail.ru

The concept of the mining region geological medium is refined. The activity characteristic of the neotectonic and other endogenous geological processes of the output objects and processing of polymetallic ores. It is shown that under the high seismic danger conditions the ecological problems of territory with the high ecosystem vulnerability are considerably aggravated. This specifies the high seismic risk of North Ossetia. Conclusion about the need for the calculation of the possible consequences of the seismic actions influence during the estimation of the integral natural – technogenic danger of the mining production is done.

Keywords: seismic hazard, ecology, ore mining region.

УДК 550.34

К ПРОБЛЕМЕ ИЗУЧЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ОЧАГОВОЙ И БЛИЖНЕЙ ЗОНАХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2014 Э.Г. Геодакян, к.ф.-м.н., С.М. Оганесян, член-корр. НАН РА,
д.ф.-м.н., профессор, Дж.К. Карапетян, к.г.-м.н.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА,
3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5, Республика Армения

Геологическая среда распространения волнового поля характеризуется геометрическим расхождением и поглощением упругих сейсмических волн. Основными факторами, влияющими на уровень сейсмического эффекта в пункте наблюдения, является геологическое строение 30-ти метрового «инженерного» слоя грунта, наличие в нем различных включений и их мощности, а также плотность и пористость грунтовых пород, насыщенных различными флюидами. В то же время сопоставление сейсмологических данных с геологическим строением региона при разрушительных землетрясениях 1985 г. (Мексика) и 1988 г. (Армения) показывает, что причиной наблюдаемых эффектов усиления сейсмического воздействия на значительных расстояниях от эпицентров, стало резонансное усиление амплитуды колебаний в верхней части разреза, мощностью несколько сотен метров. Также следует отметить, что наблюдаемые эффекты изменений сейсмических воздействий связаны как с интенсивностью волнового поля (геометрическая нелинейность), так и с геолого-геофизическими свойствами среды (физическая нелинейность).

Ключевые слова: геолого-геофизическая среда, сейсмический эффект.

Введение

На современном этапе развития инженерно-сейсмологических исследований однозначно установлено, что сейсмический эффект на поверхности Земли зависит от ряда основных факторов, связанных с очагом землетрясения, физико-механическими свойствами среды распространения сейсмических волн, а также с геолого-геофизическими условиями грунтовых пород в пунктах регистрации.

В качестве основных характеристик очага принимаются – магнитуда и механизм очага, а также амплитудно-частотный спектр сейсмического излучения и ее продолжительность.

Реальная геологическая среда распространения волнового поля характеризуется геометрическим расхождением и поглощением упругих сейсмических волн. Основными факторами, влияющими на уровень сейсмического эффекта в пункте наблюдения, является геологическое строение 30-ти метрового «инженерного» слоя грунта, наличие в нем различных включений и их мощности, а также плотность и пористость грунтовых пород, насыщенных различными флюидами.

Разработанные к настоящему времени многочисленные эмпирические зависимости параметров сейсмического эффекта от вышеуказанных факторов широко применяются в сейсмологической практике оценки сейсмической опасности [Штейнберг В. В. и др., 1993, Аптикаев, 2001; Карапетян, 2011, 2012; Douglas, 2001; Fukushima et al., 2003]. Однако, эти зависимости не дают объяснения, а в лучшем случае неадекватно оценивают аномальные изменения сейсмических воздействий,

нередко возникающих при сильных и разрушительных землетрясениях (Гоби-Алтай, 1957 г., $M_S=7,5$; Мексика, 1985 г., $M_S=7,9$; Армения, 1988 г., $M_S=7,0$; Япония, 2011 г., $M_W=9,8$). Так, при сильнейшем Гоби-Алтайском землетрясении 1957 года в эпицентральной области наблюдалась сейсмическая интенсивность $I=11\div 12$ баллов, которая на расстоянии 20-25 км от эпицентра снижалась до значений $I=5\div 5,5$ баллов. На эпицентральных расстояниях 55 км, эффект вновь устанавливался до $I=12$ баллов [Аптикаев, 2001]. Такие же эффекты наблюдались при Мексиканском землетрясении 1985 г., в г. Мехико на расстоянии 400 км от эпицентра [Campillo et al, 1989]. При Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 года эффект усиления сейсмической интенсивности наблюдался в г. Ленинакане (Гюмри), на расстоянии 40 км от эпицентра землетрясения [Field, E. H. et. Al. 1995, Геодакян и др., 1991; Геодакян, 2002; Новикова, Раутиан, 1991; Халтурин и др., 1991].

Анализ литературных источников исследований этих эффектов показывает, что некоторые исследователи связывают их с формированием в очаговой и ближней зоне сильных землетрясений стоячих, ударных и поперечных изгибных волн [Аптикаев, 2001; Быков, 2000; Кольский, 1955; Оганесян, 2012; Оганесян, 2013; Оганесян и др., 2013; Пшеников, 1965].

На основе экспериментальных данных наблюдений за ядерными взрывами Ф. Аптикаев приходит к выводу, что возникающие при формировании стоячих волн пучности и узлы приводят к усилению или понижению уровня сейсмических воздействий [Аптикаев, 2001].

В теоретических исследованиях по возникновению и распространению линейных и нелинейных волн в диспергирующих сплошных средах в [Багдоев и др., 2009] авторы указывают, что важнейшими компонентами исследования волновых процессов являются вопросы выявления законов линейной и нелинейной дисперсии, видов амплитудно-частотной модуляции, условий возникновения и распространения волновых пучков и их фокусирование.

Следует отметить, что при изучении вышеуказанных разрушительных землетрясений проводились сейсмические исследования по ряду из этих направлений. Так, на основе инструментальных данных записей афтершоков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. был проведен спектральный анализ сейсмических излучений очаговой зоны и выявлен мультиплетный характер вспаривания очага, как основного толчка, так и его сильнейших афтершоков, состоящих из нескольких субочагов [Геодакян, 2002; Новикова, Раутиан, 1991]. Изучение скоростной структуры волнового поля реальной геологической среды в очаговой и ближней зонах Спитакского землетрясения и проявления макросейсмического эффекта на поверхности, выявило взаимосвязь изменения скоростных характеристик поперечных объемных сейсмических волн с усилением и понижением макросейсмического эффекта [Татевосян и др., 2011]. В работе [Davis et. al. 2000] исследовано влияние фокусировки сейсмических волн от погребенных структур на интенсивность сотрясений.

В ряде работ, посвященных анализу сейсмологических данных и их сопоставления с геологическим строением региона при разрушительных землетрясениях 1985 г. (Мексика) и 1988 г. (Армения) пришли к выводу, что причиной наблюдаемых эффектов усиления сейсмического воздействия на значительных расстояниях от эпицентров, стало резонансное усиление амплитуды колебаний в верхней части разреза, мощностью несколько сотен метров [Халтурин и др., 1991; Campillo et. al., 1989; Lee, Trifunac, 2010].

Особо следует отметить невероятно высокие с инженерно-сейсмологической точки зрения значения ускорений колебаний грунта при Великом Японском землетрясении 2011 г. По данным регистрации максимальных ускорений на различных эпицентральных расстояниях при этом землетрясении зафиксированы возникновения ускорений колебаний грунта от 1,2-2,7 g на эпицентральных расстояниях от 100 до 400 км от эпицентра [Карапетын, 2012; Карапетын, 2013].

Результаты вышеприведенных исследований макросейсмических эффектов на поверхности Земли, а также инструментальные данные указывают, что наблюдаемые эффекты изменений сейсмических воздействий связаны как с интенсивностью волнового поля (геометрическая нелинейность), так и с геолого-геофизическими свойствами среды (физическая нелинейность). Оба типа нелинейности указывают влияние на формирование нелинейных эффектов сейсмических воздействий.

Исходя из вышеизложенного, приходим к заключению, что наиболее перспективным направлением являются исследования формирования и распространения упругих сейсмических волн в сложных геолого-геофизических средах с учетом их свойств нелинейности.

На основе этих исследований должны быть разработаны математические модели источников излучения сейсмических волн, а также математические модели реальных геологических сред распространения упругих сейсмических волн. Для достижения этих целей следует рассматривать следующие основные задачи:

1. Изучить нелинейности геолого-геофизических сред формирования и распространения упругих сейсмических волн.
2. На основе имеющихся геофизических и сейсмологических данных, а также путем проведения дополнительных сейсмологических исследований определить численные значения коэффициентов поглощения и скоростей упругих волн в горных породах.
3. Математическое моделирование нелинейных сейсмических эффектов.

Нелинейность геолого-геофизических сред распространения упругих сейсмических волн.

Выявление взаимосвязи динамических характеристик упругих сейсмических волн с физико-механическими свойствами геологической среды их распространения, является одним из основных направлений сейсмологических исследований.

Физические механизмы, диссипатии, дисперсия и нелинейность реальных горных пород довольно разнообразны и зависят от типа сейсмических волн и характера неравновесности среды. Поэтому построение математических моделей необходимо для определения возможных источников нелинейности, выявления основных механизмов, вызывающих искажения сигналов в различных горных породах и параметров, оказывающих наибольшее влияние на величину поглощения, дисперсии и нелинейности.

Для этих целей особый интерес представляют модели, в которых математическое описание физических процессов в геологических средах сводится к нелинейным эволюционным уравнениям.

Особо следует рассмотреть возможность применения эволюционных уравнений типа уравнений Буссинеске, Бюргера, Син-Гордона, которые имеют точные аналитические решения и достаточно хорошо изучены в различных областях физики. Это

существенно упрощает анализ и позволяет детально изучить физическую картину аномальных проявлений сейсмического эффекта [Быков, 2000; Быков, 2000].

Довольно перспективно также рассмотреть возможность применения этих уравнений для построения моделей нелинейных волновых процессов сейсмической активности разломов земной коры.

Поглощение и скорости упругих волн в геологических средах.

В этом направлении особый интерес представляется в определении на основе экспериментальных данных скоростей распространения упругих сейсмических волн в очаговой и ближней зонах сильнейших землетрясений, наблюдаемых на территории Армении при Спитакском землетрясении количественных параметров диссипации (коэффициент α и декремент δ поглощения, добротность среды Q).

Эти параметры дают возможность изучить необратимые процессы передачи энергии сейсмических волн частицам геологической среды.

Параметры поглощения связаны между собой следующим образом [Быков, 2000]:

$$\delta = \frac{2\pi\alpha v}{\omega}, \quad Q = \frac{\pi}{\delta}, \quad \delta = \frac{2\pi\alpha v}{\omega}, \quad Q = \frac{\pi}{\delta}, \quad Q^{-1} = \frac{2\alpha v}{\omega}, \quad Q^{-1} = \frac{2\alpha v}{\omega},$$

где v – скорость распространения сейсмической волны, ω – частота, Q^{-1} – удельная диссипативная функция, Q – добротность среды.

Численные значения этих параметров дают возможность рассчитать коэффициенты эволюционных уравнений, моделирующих геологическую среду распространения сейсмических волн.

Математическое моделирование линейных и нелинейных сейсмических эффектов.

С математической точки зрения, линейность и нелинейность определяются видом уравнений, включающих либо неизвестные в степени $n \neq 1$, либо зависящие от свойств среды коэффициенты.

С целью моделирования эффектов аномальных проявлений сейсмических воздействий на поверхности Земли, кроме вышеуказанных уравнений следует рассмотреть эволюционные уравнения Шредингера, которые довольно реалистично моделируют физические процессы генерации, взаимодействия и распространения сейсмических волн в геологических средах [Багдоев и др., 2000]. Особое внимание заслуживают вопросы, связанные со слоистостью, трещиноватостью среды в пунктах наблюдений этих эффектов, так как в таких средах особенно отчетливо проявляются нелинейные свойства.

Результаты выше рассмотренных исследований позволяют существенно прояснить сложные физические процессы, возникающие в очагах сильных землетрясений и связанных с ними процессами формирования и распространения сейсмических волн в реальных геологических средах. Разработанные на основе этих исследований математические модели взаимосвязи параметров очага, реальной геологической среды распространения сейсмических волн и физико-механических свойств горных пород в пунктах наблюдений с количественными параметрами сейсмических воздействий, дадут возможность оценить реальные величины ожидаемых от сильных землетрясений сейсмических воздействий на различных эпицентральных расстояниях.

Эти модели позволят приступить к актуализации существующих карт сейсмической опасности территории Армении с новых научных позиций, учитывающих нелинейные процессы.

Литература

1. Аптикаев Ф.Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях. Автореферат дис. по соисканию ученой степени доктора физ-мат. наук Москва, 2001 г. 45с.
2. Багдоев А.Г., Ерофеев В.И., Шикоян А.В. Линейные и нелинейные волны в диспергирующих сплошных средах. Москва, Изд. физматмет, 2009 г. 318стр.
3. Быков В.Г. Нелинейные волновые процессы в геологических средах. Владивосток: Дальнаука, 2000.190с.
4. Быков В.Г. Эволюция волн разрушения в неоднородном разломе земной коры // Докл. АН.2000. Т.370. N1. С.102-104.
5. Быков В.Г. Уединенные волны в разломе земной коры // Вулканология и сейсмология. 2000. N6. с49–54.
6. Геодакян Э.Г., Галинский Г.Л., Папалишвили В.Г. и др. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. Карты изосейст. Землетрясения в СССР в 1988 г. М. Изд.-во Наука, 1991, с. 74-86.
7. Геодакян Э.Г. Спектральные характеристики очаговых излучений Спитакской сейсмической зоны. Сп. науч. трудов конференции посвященной 40-летию ИГИС. Изд. «Гитутюн» НАН РА, Гюмри, 2002 г., с. 299-311.
8. Карапетян Дж.К. Статистический анализ количественных параметров сейсмического воздействия Японского 11.03.2011 землетрясения. // В кн.: Сб. научных трудов конференции, посвященной 50-летию основания ИГИС НАН РА. – Гюмри, Изд. “Гитутюн”, НАН РА, 2011, с. 344-362 (на арм. яз.).
9. Карапетян Дж.К. Сопоставительный анализ расчетных кривых коэффициента динамичности β (Т,n), полученных различными методами // Вопросы инженерной сейсмологии. ISSN 0132-2826. 2012, Т.39. №3. стр. 33-40.
10. Карапетян Дж.К. Учет результатов зарегистрированных сейсмических колебаний разрушительных и Великого Японского землетрясений 11.04.2011 г. при оценке сейсмической опасности // Геология и геофизика Юга России, №2,2013, с.75-85.
11. Кольский Г. Волна напряжения в твердых телах. М.: ИЛ, 1955. Стр. 192.
12. Новикова Е.И., Раутиан Т.Г. Параметры очага Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. Изв. АН СССР Физика Земли, 1991, N12, Наука, с.32-46.
13. Оганесян С.М. К постановке задачи о распространении упругих волн чистого изгиба и изгиба в однородном консольном стержне // В кн.: Опасные процессы в горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Владикавказ, 2012, стр. 316-325.
14. Оганесян С.М. Постановка задач о распространения упругих волн чистого изгиба и изгиба при поперечных колебаниях однородного консольного стержня. // ДНАН РА, 2013, т.113, N3.
15. Оганесян С.М., Мурадян А.Р., Оганесян А.О. Задача кинематического возбуждения жестко заземленного с двух сторон однородного стержня, как модель возникновения и распространения сейсмической волны в ближней зоне очага землетрясения // В кн.: Труды I международной конференции молодых ученых, посвя-

щенной 70-летию основания НАН РА. – Гюмри, Изд. ‘Гитутюн’, НАН РА, 2013, с. 310-313.

16. Пшеников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры // Изд. Наука, М., 1965, 87 с.

17. Татевосян Р.Э., Аптекман Ж.Я., Дорбат К., Вакарчук Р.Н., Татевосян Т.Н. Скоростная структура среды и макросейсмический эффект: Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. Изд. РАН «Физика Земли», 2011 г. №9 стр. 72-82.

18. Халтурин В.И., Шомахмадов А.М., Геодакян Э.Г., Саргсян Н.М., Мхитарян Л.А. Усиление интенсивности колебаний в Ленинкане // Вопросы инженерной сейсмологии. 1991. Вып. 32. С. 5-14.

19. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф., Алказ В.Г., Гусев А.А., Ерохин Л.Ю., Заградник И., Кендзера А.В., Коган Л.А., Лутиков А.И., Попова Е.В., Раутиан Т.Г., Чернов Ю.К. Методы оценки сейсмических воздействий (пособия) // Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука, 1993, вып. 34. 95 с.

20. Campillo M., Gariel J.C., Aki K. et al. Destructive strong ground motion in Mexico city: Source, path, and site effects during great 1985 Michoacan earthquake // Bull. Seismol. Soc. Am. 1989. V.79. N6. P. 1718-1735.

21. Davis P.M., Rubinstein J.L., Liu K.H., Gao S.S., Knopoff L. 2000. Northridge Earthquake Damage Caused by Geologic Focusing of Seismic Waves // Science DOI: 10.1126/science.289.5485.1746289

22. Douglas J., 2001. A comprehensive worldwide summary of strong-motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000). Imperial College of Science, Technology and Medicine Civil Engineering Department London SW72BU, ESEE Report No. 01-1. P.144.

23. Field, E. H., Clement A. C., Jacob K. H., Aharonian V., Hough S. E., Friberg P. A., Babiian T. O., Karapetian S. S., Hovanessian S. M., and Abramaian H. A. (1995). Earthquake site-response study in Giumri (formerly Leninakan), Armenia, using ambient noise observations, Bull. Seism. Soc. Am. 85, 349-353.

24. Fukushima Y., Berge-Thierry C., and Volant Ph., Griot-Pommerer, D. A., Cotton F. [2003] Attenuation relation for west Eurasia determined with recent near-fault records from California, Japan and Turkey. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 7, No. 3, Imperial College Press, p.1-26.

25. Lee V. W., Trifunac M. D. Should average shear-wave velocity in the top 30m of soil be used to describe seismic amplification? // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2010. V. 30. P. 1250-1258.

TO THE PROBLEM OF INVESTIGATION OF ABNORMAL APPEARANCE OF SEISMIC IMPACTS IN NEAR-SOURCE AND NEAR-FIELD ZONES OF STRONG EARTHQUAKES

© 2014 E.G. Gyodakyan, Sc. Candidate (Phys.-math.), S.M. Hovhannisyan, corr. Member of NAS RA, Sc.Doctor (Phys.-math.), prof., J.K. Karapetyan, Sc.Candidate (Geol.)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology of NAS RA, Gyumri, Armenia

Geological medium of wavefield propagation is characterized by geometrical divergence and absorption of elastic waves. The main factors influencing the level of seismic effect at the observation point are geological structure of a 30m «engineering» layer of soil, the presence of a variety of inclusions and their power, and the density and porosity of ground rocks saturated with different fluids. At the same time, comparison of seismic data with the geological structure of the region during the strong earthquakes in 1985 (Mexico) and 1988 (Armenia) shows that the cause of the observed effects of amplification of the seismic action at considerable distances from the epicenters, was resonant amplification of the amplitude in the upper soil part of several hundreds of meters. It should also be noted that the effects of changes of observed seismic effect are associated with both the intensity of the wave field (geometric nonlinearity), and with geological and geophysical properties of the medium (the physical nonlinearity).

УДК 550.34

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ЗАТУХАНИЯ УСКОРЕНИЯ ГРУНТА

© 2014 В.Г. Григорян, к.ф.-м.н.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА,
3115, г. Гюмри, ул. В. Сарксяна, 5; e-mail: iges@sci.am

На основе сравнительного анализа и сопоставлений существующих моделей затухания эффекта землетрясения аргументирована и обоснована целесообразность использования для практических задач более простых (универсальных) моделей $A_{\max} = F(M, R)$.

С использованием большого объема экспериментальных данных о сильных и разрушительных землетрясениях, происшедших в регионе, определены коэффициенты заданной универсальной модели, которую рекомендуется использовать как наиболее приемлемую для территории Армении.

Ключевые слова: очаг землетрясения, эпицентральное расстояние, акселерограмма.

Для наиболее объективной оценки сейсмической опасности и риска, как больших территорий, так и отдельных городов, населенных пунктов и площадей (в том числе и площадей особо ответственных объектов) необходимо по возможности точно прогнозировать количественные параметры колебаний почвы при сильных землетрясениях [Григорян, 2010].

От степени обоснованности методов оценки сейсмической опасности в количественных характеристиках сильных движений грунта в значительной мере зависят масштабы социально-экономического ущерба причиняемого землетрясениями.

В настоящее время усилиями ученых разных стран мира разработаны отдельные аспекты прогноза сейсмических воздействий, сформулированы некоторые теоретические и практические методы. На основе инструментальных наблюдений за сильными движениями грунта изучены общие закономерности связи параметров колебаний с характеристиками очагов землетрясений, региональными геологическими условиями. Однако, проблема установления специфики проявления сейсмических воздействий, обусловленной в комплексе, как конкретными сеймотектоническими условиями очаговых зон, так и локальными инженерно-геологическими условиями площадок строительства, пока не решена.

Для Армении эта проблема имеет особое значение в силу того, что, во-первых, вся территория республики, включая столицу, находится в зоне, подверженной сотрясениям интенсивностью 8-9 и более баллов и, во-вторых, мы практически не располагаем записями сильных и разрушительных землетрясений.

Обычно к вопросу параметрического описания количественных показателей сейсмических колебаний подходят с той позиции, чтобы система параметров была независимой: позволила задать воздействие, как во временной, так и в спектральной форме; отражала наиболее важные и употребляемые с инженерной точки зрения компоненты колебательного процесса.

Амплитудный уровень, продолжительность и спектральный состав ускорений (смещений, скоростей) являются важнейшими параметрами сейсмического воздей-

ствия.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ существующих некоторых моделей эффекта затухания землетрясения и возможность их применения для территории Армении.

Эффект затухания ускорения грунта исследовался многими специалистами [Аптикаев, 2001; Штейнберг, 1986; Штейнберг, 1990; Bozoerqinia, Niazi, 1993; Campbell, 1981; Campbell, 1988; Esteva, Rosenblueth, 1964; Fukushima, Tanaka, 1990; Joyner, Boore, 1981; Smit and esc, 2000; Yamazaki, 1993] и др.

Некоторые, наиболее известные, зависимости $A_{max} = f(M, R)$ приводятся также в [Григорян, 2003; Хачиян, 2008; Штейнберг, 1993].

В работе [Штейнберг, 1986], в частности, Штейнберг В.В. отмечает, что исходя из особенностей колебаний в ближней и дальней зонах, Кемпбелл предлагает два основных типа зависимости максимальных ускорений от M и R :

$$\lg A_{max} = a + bM - a \lg (C_1/R^2 + C_2/R) + \lg R; (1a)$$

$$A_{max} = a \exp (b M) R^{-d}. (1б)$$

Здесь в (1a) члены C_2R и C_1R^2 описывают геометрическое расхождение в ближней и дальней зонах, а по (1б) подчеркивается экспоненциальная зависимость уровня ускорений от магнитуд.

Следует отметить, что разброс значений A_{max} в сейсмостатистических оценках довольно значительный, достигающий 0,2-0,4 лог. ед., что связано со многими трудно-учитываемыми факторами: представительность выборки, использованная методика обработки и т. д.

Рассмотрим зависимости $A_{max} = f(M, R)$ наиболее, на наш взгляд, известные и более употребляемые. Все они были получены на достаточно большом и представительном материале. Это модели:

$$1. A_{max} = 13,5 \exp (0,896 M) R^{-1,0} \text{ no [6];}$$

$$2. \lg A_{max} = a + b (M - 6) + C (M - 6)^2 + d \lg R + KR + S,$$

$$\text{где } R = (R_o^2 + h^2)^{1/2} \text{ no [Joyner, Boore, 2011];}$$

$$3. \ln y = a + bM_s + d \ln [r + h_1 \exp (h_2 M_s)] + kr + S \text{ no [Campbell, 1988];}$$

$$4. \lg A_{max} = b M - \lg (R_p + C 10^{0,41 M}) - d R_p + S \text{ no [Fukushima Y. and Tanaka, 1990].}$$

Все вышеприведенные зависимости рассмотрены в однородных системах параметров: для максимальной амплитуды на максимальной горизонтальной компоненте.

Относительную применимость приведенных мировых соотношений можно оценить на основе сопоставления значений ускорений (или же кривых $A_{max} = f(M, R)$) с ускорениями (или с кривыми $A_{max} = f(M, R)$) наблюдаемыми (или полученными) при конкретных землетрясениях для изучаемого региона.

Такая постановка задачи позволила нам в [Григорян, 2003] с некоторой вероятностью и точностью (ибо она осуществлялась на достаточно скудном собственном экспериментальном материале) рассмотреть возможность использования зависимости Штейнберга В.В. [Штейнберг, 1990] применительно к территории Армении – правда, в ограниченных диапазонах расстояний.

Анализ подтверждает вывод многих специалистов об общности закономерностей затухания ускорений в разных регионах мира. Более того – наблюдается некоторая тенденциозность использования из всего набора существующих моделей $A_{\max} = f(M, R)$ некоторых, считающихся более достоверными, информативными и т. д.

Таковыми, например, считаются модели Бура – Джойнера, Кэмпбелла, Фукушимы – Танаки и др.

Вместе с тем существует ряд сложностей при прямом использовании даже таких «достоверных» моделей.

Рассмотрим подробно из этой позиции, например, модель Кэмпбелла [Campbell, 1981].

К. Кэмпбелл получил соотношения $A_{\max} = f(M, R)$ в результате анализа данных по многим районам мира. Взяты средние значения A_{\max} по двум горизонтальным компонентам (в долях g). Рассмотрены относительно неглубокие очаги с нижней кромкой на глубине 25 км, использованы записи на близких расстояниях – $R < 50$ км.

Оценки A_{\max} приписываются к рыхлым аллювиальным грунтам III категории. Выражение, отражающее зависимость $A_{\max} = f(M, R)$ имеет вид:

$$\ln y = a + bM_s + d \ln [r + h_1 \exp(h_2 M_s)] + kr + S, \quad (2)$$

где значения коэффициента S рассчитываются по формуле:

$$S_a = e_1 K_1 + e_2 K_2 + e_3 K_3 + e_4 K_4 + e_5 K_5 + e_6 (K_4 + K_5) \operatorname{tg}(e^{-r}). \quad (3)$$

Значения коэффициентов уравнения (3) приводятся в табличной форме [Штейнберг, 1993].

Данная модель, учитывающая, по возможности, достаточное количество факторов и имеющая большой статистический вес, на первый взгляд, может представляться безупречной. Однако, непосредственное ее применение для какого-либо конкретного региона, например, для территории Армении, может привести к некоторым, мягко говоря, затруднениям и неопределенностям.

Так, фигурирующие в уравнении (3) коэффициенты K_i в наборе первичного экспериментального материала задаются для условий, учитывающих такие факторы, как тип источника (коэффициент – K_1); направленность разрыва (коэффициент – K_2); тип грунтов – K_3 ; условия установки приборов (коэффициенты K_4 и K_5). Очевидно, что не всегда они могут быть известны или установлены. Поэтому более простые, может быть, в какой-то степени «грубые» модели (например, выше упомянутая модель В.В. Штейнберга) иногда могут быть более приемлемыми и целесообразными (особенно при практических задачах), нежели выше рассмотренная и ей подобные модели.

Нам представляется, что использование более простых моделей, описывающих эффект затухания ускорений (смещений, скоростей) иногда оказывается более целесообразным исходя из следующих соображений. Во-первых, как отметили выше, какая бы модель не была использована, разброс значений ускорений в сейсмостатистических оценках, ввиду известных причин, довольно значительный – $0,2 \div 0,4$ лог. ед.

Во-вторых, в некоторых практических задачах (в частности, при картировании значений A_{\max} , в нормативных документах и т. д.) вполне приемлемы и те точности оценок A_{\max} , которые можно получить и по более простым моделям.

И, наконец, в универсальных моделях сравнительно легко можно ввести поправки коэффициентов на базе существующего, порой не очень богатого фактиче-

ского материала, соблюдая при этом, по возможности, принцип сеймотектонической аналогии.

Часто исходят из того, что возможный учет большого количества факторов позволяет значительно повысить достоверность прогнозируемых оценок A_{max} . Однако, такая позиция не совсем безупречна: необходимо учесть, что каждый дополнительный фактор содержит свои ошибки (или же они характеризуются лишь качественно) и тогда мы поневоле приходим к сумме слагаемых ошибок.

Очень важно еще иметь в виду тот факт, что сами величины ускорений, при одних и тех же очаговых параметрах, иногда варьируют в таких немислимых пределах, что порой перекрывают необходимость учета «дополнительных факторов».

Но, а наиболее важные факторы, какими, например, являются механизм очага, грунтовые условия места регистрации и др., можно учитывать на стадии группирования исходного экспериментального материала.

Поэтому, как отметили выше, в большинстве случаев, для практического применения вполне пригодны более простые модели.

Из ныне существующих наиболее простых и универсальных кривых эффекта затухания ускорения грунта, можно выделить модели, предлагаемые Амбрасейсом и Боммером – для европейского континента [Ambraseys and Bommer, 1991]; Буром и Джойнером – для западной Америки и Фукушимой и Танаки – для Японии [Yamazaki, 1993]. Они подробно описаны также в монографии [Хачиян, 2008].

Эти зависимости в общем виде представляются следующей формулой:

$$\lg A_{max} = \alpha + \beta M - n_0 \lg R' + bR' + \sigma P. (4)$$

Здесь $R' = (R^2 + h_0^2)^{1/2}$, где R – эпицентральный расстояние, h_0 – глубина очага, а значения α , β , n_0 , b , σ для каждого региона приводятся отдельно.

На базе этой модели нами осуществлен расчет коэффициентов α , β , b , используя данные примерно 150 записей землетрясений.

Таблица 1

**Значения A_{max} (в долях g) для разных M и R
(без учета стандарта отклонения)**

M	R (км)									
	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	30,0
5,0	0.181	0.154	0.128	0.105	0.086	0.071	0.059	0.049	0.041	0.029
6,0	0.382	0.325	0.270	0.222	0.182	0.150	0.125	0.107	0.087	0.062
7,0	0.807	0.686	0.570	0.468	0.385	0.317	0.263	0.219	0.183	0.130

Большинство из них – записи (акселерограммы), случившихся в регионе землетрясений за период 1980-2008 гг. (Армения, Грузия, Турция, Иран). Очаги всех подобранных землетрясений находятся в пределах $h < 25$ км (в большинстве случаев $5 \div 15$ км). Значения и тип магнитуд приводятся по первоисточникам (в большинстве случаев – это магнитуды M_L – определенные по поверхностным волнам).

Данные о землетрясениях были взяты из опубликованных и размещенных на сайтах сводок, в том числе из сводок Национальной службы сейсмической защиты (НССЗ) РА.

Диапазон значений магнитуд варьировал в пределах $4,4 \div 7,4$.

При наличии сведений фиксировались и инженерно-геологические условия места регистрации (преимущественно они относятся к рыхлым грунтам – категории II-III).

Ниже приведены рассчитанные значения коэффициентов корреляции для формулы (4):

$\alpha = -1,1281$; $\beta = 0,3243$; $b = -0,0167$; n_0 , как и в [Yamazaki, 1993] – принят равным 1,0.

Значения A_{max} выражены в долях (g) σ – стандарт функции $\lg A_{max}$ (в данном случае он равен 0,267 лог. ед.) а P – постоянная, равная единице (определения A_{max} соответствуют надежности оценок 75%).

С целью получения сравнительно стабильных оценок кривых затухания на данном этапе рассматривались записи только на близких расстояниях. Более детальное изучение зависимостей $A_{max} = f(M, R)$ показывает, что они в разных интервалах имеют неодинаковый характер и не могут быть описаны простыми аналитическими выражениями.

Расчетная кривая затухания ускорений для условий $M=6,0$; $h_0 = 10$ км, представлена на рисунке (кривая-1). На том же рисунке приведено сопоставление этой кривой с аналогичными универсальными кривыми, полученные авторским коллективом [Smit and esc., 2000] по данным землетрясений Кавказа и прилегающих регионов – кривая-2 и для запада США [Joyner, Boore, 1981] – кривая-3.

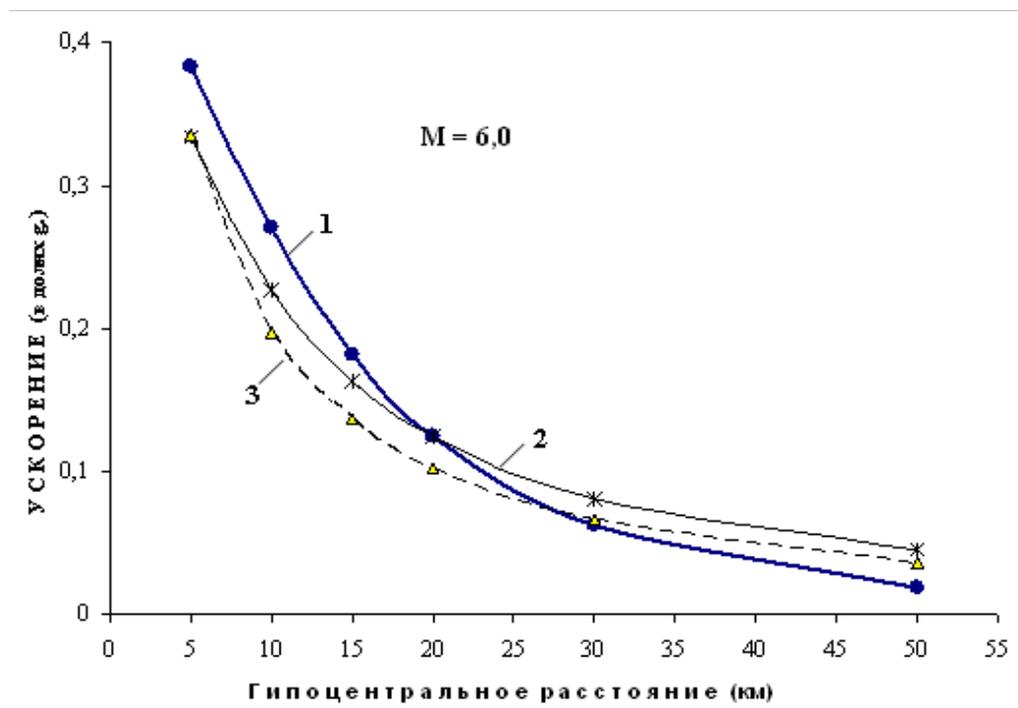


Рис. 1. Сопоставление кривых затухания A_{max} , полученные: 1-автором; 2-Smit P., Arzumanyan V.; 3-Joyner W., Boore D. ($M=6,0$, $h_0=10$ км).

Отметим, что диапазон рассмотренных величин M и R в [Smit and esc., 2000] колеблется в пределах $4 < R < 230$ км; $M=4,0 \div 7,0$, а глубина очагов землетрясений принята равной 4,5 км. В нашем случае $h_0 = 10$ км, а расстояния ограничены в пределах очаговой зоны – $R < 50$ км.

Сравнение показывает, что в нашем случае кривая затухания ускорений (кривая-1) на близких расстояниях по уровню несколько превышает уровни кривых 2 и 3. Кроме того она характеризуется сравнительно быстрым затуханием ускорений.

Характерной особенностью полученной нами модели $A_{\max} = f(M, R)$ является то, что она построена на достаточно однородном экспериментальном материале с использованием региональных данных. Привлечение данных о землетрясениях, зарегистрированных на больших расстояниях, позволит в дальнейшем иметь наиболее представительные виды кривых затухания A_{\max} .

Заключение

1. На основе сравнительного анализа и сопоставлений существующих моделей затухания эффекта землетрясения аргументирована и обоснована целесообразность использования более простых (универсальных) моделей при решении практических задач инженерной сейсмологии.

2. На базе сравнительно однородного материала по сильным землетрясениям, происшедших в регионе (Армения, Грузия, Турция, Иран) за последние 20-30 лет, определены коэффициенты для заданной универсальной модели.

3. Полученную зависимость $A_{\max} = f(M, R)$ рекомендуется использовать для территории Армении при решении практических задач: оценка сейсмической опасности и риска (в том числе территории ответственных объектов).

Литература

1. Аптикаев Ф.Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. доктора. физ.-мат. наук. М.: 2001, 47 с.
2. Григорян В.Г. О зависимостях ускорений колебания грунтов при сильных землетрясениях. Некоторые региональные особенности. НАН РА, Науки о Земле, Ереван, 2003, том 56, №2, с. 47-50.
3. Григорян В.Г. Принципиальные аспекты составления карт сейсмического риска разрушений (на примере г. Гюмри после землетрясения 7.12.1988 г.). Проблемы сейсмологии в Узбекистане, №7, Ташкент, 2010, с. 71-75.
4. Хачиян Э. Прикладная сейсмология. Ереван, Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2008 г., 491 стр.
5. Штейнберг В.В. Параметры колебаний грунтов при сильных землетрясениях. Детальные инженерно-сейсмологические исследования. Вопросы инж. сейсм., вып. 27. М., Наука, 1986. с. 7-22.
6. Штейнберг В.В. Колебания грунта при землетрясениях. Вопросы инж. сейсм., №31, М., Наука, 1990, с. 47-67.
7. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие). РАН, Москва, 1993, 91 с.
8. Ambraseys N.N. and Bommer Y.Y. Database of European Earthquake Associated with strongmotion Records. European Earthquake Eng. V. №2, 1991, p. 18-37.
9. Bozoerqinia Y., Niazi M. Distance Scaling of Vertical and Horizontal Response Spectra of the 1989 Loma Prieta Earthquake. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol.22, 1993, p.695-707.
10. Campbell K. Near source attenuation of peak horizontal acceleration // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1981. Vol.71, №6. p. 2039-2070.

11. Campbell K. Predicting strong motion in Utah // Evolution of regional and urban earthquake Hazards and risk in Utah. Wash. (D. C.), 1988.

12. Esteva L., Rosenblueth E. Espectros de temboeres a distancias moderateas y grandes. Soc. Mexuc. Ingen. Seismol. Bull. 1964, vol.2. 1-18.

13. Fukushima Y. and Tanaka A. New Attenuation for Pear Ground Acceleration, Velocity and Displacement. Based on Multiple Regression Analysis of Japanese Strong – Motion. Bull. Seis. soc. Am. 80, 1990, p. 757-783.

14. Joyner W., Boore D. Peak Horizontal acceleration and velocity from strong-motion records, including records from the 1979 Imperial Valley California earthquake. Bull. Seismol. Soc. Amer. 1981. Vol.71, №6, p.2011-2038.

15. Smit P., Arzoumanian V. and esc. The Digital accelerograph Network in the Caucasus. Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction. Kliwer Academic Publishers. 2000, p. 109-118.

16. Yamazaki F. Comparative Study of Attenuation Characteristics of Ground Acceleration in Europe, North America and Japan. Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research center. N26, March, 1993. Inst. of ind. Science Univ. of Tokyo, p.39-56.

COMPARATIVE ESTIMATES OF GROUND ACCELARATION DAMPING EFFECT

© 2014 V.G. Grigoryan, Sc. Candidate (Phys.-math.)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology of NAS, Armenia,
Gyumri, e-mail: iges@sci.am

On the basis of comparative analysis and comparison of existing models of earthquakes' damping effect, it was argued and found reasonable for practical tasks the application of simpler (universal) models $A_{max} = F(M, R)$.

With the use of wide range of experimental data on strong and distractive earthquakes occurred in the region, coefficients of given universal model are determined, which is recommended as the most reliable on the territory of Armenia.

Keywords: earthquake hearth, epicentral distance, accelerogram.

УДК 550.394

ИНЖЕНЕРНОЕ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 14 ДЕКАБРЯ 2000 г.

© 2014 В.Б. Заалишвили^{1,2}, д.ф.-м.н., проф., А.В. Одишария²,
И.Э. Тимченко², н.с., М.Г. Отинашвили², с.н.с., С.А. Гогмачадзе^{3,4}, с.н.с.,
З.В. Заалишвили⁵, асп.

¹Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и PCO-A, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru, ²Институт строительной механики и сейсмостойкости им. К.С. Завриева АН Грузии, 0193, Тбилиси, Грузия, ул. М.Алексидзе, 1, корп. 8, ³Предприятие инженерно-геологических и геофизических исследований, Тбилиси, Грузия, ⁴Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили, 0179, Тбилиси, Грузия, пр-т. Чавчавадзе, 1, e-mail: example@tsu.ge ⁵Институт экономики им. П. Гугушвили АН Грузии, Тбилиси, Грузия, ул. Г.Кикодзе, 14, e-mail: economics_institute@yahoo.com

Приводится анализ землетрясения, произошедшего в 2000 году на территории Грузии. Была проведена специальная экспедиция, которую организовал Институт строительной механики и сейсмостойкости АН Грузии. Опрошены жители населенных пунктов, оказавшихся в зоне землетрясения. На основе анализа полученного материала была построена карта изосейст в технологии GIS.

Ключевые слова: землетрясение, акселерограмма, инженерное макросейсмическое обследование, повреждение, изосейсты.

Высокий уровень сейсмической опасности, установленный в результате происшедших сильных землетрясений в последние десятилетия, подтверждаются палеосейсмологическими исследованиями. Наличие большого числа инструментальных записей позволило создать методы, основанные на прямых расчетах [Заалишвили, Рогожин, 2010, Заалишвили и др., 2011].

14 декабря 2000 г. произошло землетрясение с магнитудой $M=3.5-3.6$, очаг которого располагался на расстоянии $r=12$ км к югу от г. Тбилиси, координаты эпицентра – $\varphi=41.62^\circ$, $\lambda=44.70^\circ$. Глубина очага составила около 10 км [Заалишвили и др., 2001а]. Запись колебаний показывает, что имел место преобладающий вертикальный толчок (рис. 1). Преобладающая частота колебаний грунта или частота колебаний основной части сигнала составила 8 Гц.

В ближней зоне разрушительного землетрясения в спектральном составе сейсмического воздействия проявилась предварительная вертикальная высокочастотная составляющая Z , значительно (почти в два раза) превышающая по амплитуде т.н. «основной» сигнал на всех трех составляющих. При этом на X и Y составляющих имело место сильное поглощение. Хорошо известно, что, как правило, быстрее поглощаются именно вертикальные, т.е. более высокочастотные (ВЧ) составляющие сигнала. Поэтому сигнал приходящий издалека «теряет» ВЧ часть и характеризуется низкочастотными (НЧ) колебаниями. С другой стороны, появление большой амплитуды ВЧ составляющей сигнала сопутствует неупругим явлениям в среде и выявляется на ближних расстояниях. На это указывают результаты исследований

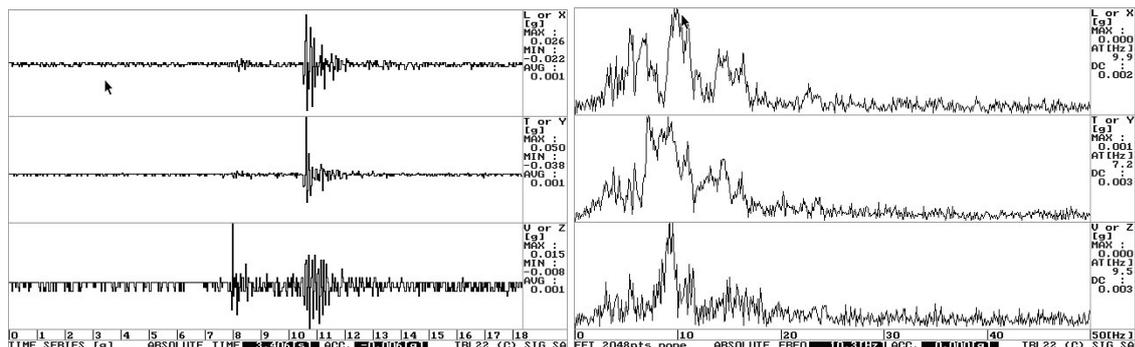


Рис.1. Акселерограмма и спектр Фурье землетрясения от 14.12. 2000 г, зарегистрированная акселерографом SMACH (отдел региональной сейсмологии Института геофизики АН Грузии).

записей в ближней зоне сильных землетрясений, динамических воздействий и данные специальных экспериментов [Заалишвили, 2000, 2009; Заалишвили и др., 2004; Заалишвили, Тотиева-Туаева, 2010].

На наш взгляд, именно неупругие явления обусловили такую аномалию. При этом необходимо отметить, что строго говоря, сам очаг мог формировать преобладание вертикальной составляющей при его «вытянутости» по нормали к земной поверхности, но тогда ареал его простираения не мог быть таким обширным, доходя до 4 балльной изосейсты для такого умеренного, по сути, землетрясения. В то же время, анализ записей сильных и разрушительных землетрясений показал, что при землетрясениях с магнитудой превышающей $M=3$ отчетливо проявляются неупругие явления, являясь, таким образом, ориентировочной границей их появления [Заалишвили, 2000].

В процессе выполнения международного проекта INTAS и при его финансовой поддержке Институтом строительной механики и сейсмостойкости АН Грузии была организована специальная экспедиция. До проведения экспедиции было выполнено макросейсмическое обследование территории г.Тбилиси. Ниже приведены основные результаты инженерного макросейсмического обследования эпицентральной зоны землетрясения.

Село Квемо Телети. В селе имеются незначительные проявления землетрясения на зданиях и сооружениях (повреждения 0-1 степени). Здания, в целом, новой постройки, двухэтажные, из кирпича или мелких блоков. Есть небольшое количество старых зданий со стенами из каменной кладки. Грунтами оснований обследованного поврежденного 2-х этажного здания являются глинистые грунты. Уровень грунтовых вод в селе составляет примерно 4.0-8.0 м, который приурочен к галечникам, подстилающим глинистые грунты.

Житель села Б. Китиашвили сообщил, что непосредственно перед землетрясением залаяли собаки, заревел скот. Послышался гул. Жители ощутили вертикальный удар. Закачались люстры, была паника. Люди выбежали на улицы.

Монастырь Шавнабада. Монастырь Шавнабада нынешний вид имеет с начала 19 века. Расположен на вершине горы, на песчаниках. Сложен из прочной кирпичной кладки. Имеет несимметричную форму. Сооружение не имеет антисейсмических мероприятий (АСМ). Из верхней части кладки колокольни упал кирпич. Других видимых повреждений нет.

Обитатели монастыря – монахи рассказали, что почувствовали вертикальный толчок во время вечерней службы. Был слышен гул.

Село Цаласкури. Проявления землетрясения те же, что и в с. Квемо Телети. Грунты оснований зданий и сооружений – делювий.

Село Вашловани. Село старое. Расположено на склоне (рис. 2). Ранее располагалось на плоской вершине горы. По рассказам жителей, село в XVII столетии три раза полностью разрушалось в результате набегов леков («лекианоба»). В современный период село перенесено по склону к основанию горы. Здесь находится церковь – башня. Состояние – хорошее. Особенность застройки – много новых кирпичных домов. Причем, новые дома, большей частью, не достроенные, расположены на старых фундаментах. Грунты основания – глинистые грунты и супеси. Уровень грунтовых вод составляет 5.0-6.0 м. В большинстве зданий – повреждения 1-2 степени. Житель села М. Ментешавили сообщил, что жители ощутили достаточно сильный вертикальный удар. Послышался сильный гул. Перед землетрясением – лай собак и рев скота. Был слышен звон посуды, паника. Население выбежало на улицы.



Рис.2. Общий вид застройки территории

Село Кумиси. В селе около 700 домов. Повреждения 1 степени – в большинстве зданий. Ранее существующие трещины раскрылись. Предметы не сдвигались. В селе распространена кладка на глиняном растворе. Житель села О. Мазмишвили показал здание, построенное 100 лет назад. В кладке здания вертикальные трещины (повреждения 1-2 степени). Отдельные здания из каменной кладки без АСМ (тип А) получили повреждения 3-4 степени. На рис. 3 показан дом В. Мдивнишвили, получивший повреждения.

Помимо выпадения кладки дом получил трещины в стенах и пересечениях стен в углах шириной раскрытия до 2 см. Дом О. Мазмишвили из каменной кладки на слабом растворе, не имеет АСМ, расположен на склоне с уклоном больше 15° . Полу-

чил повреждения 3 степени. Расположенная рядом старая постройка со стенами из каменной кладки очень плохого качества была повреждена еще до землетрясения.

Во время землетрясения был слышен скрип конструкций. Гула не было. Звенела посуда (но не падала). Житель села В. Мдивнишвили рассказал, что он почувствовал горизонтальный толчок. Качались люстры. Население выбежало на улицы.

Село Эрциси. Села Вашловани и Эрциси смыкаются, образуя сплошную застройку. Те же проявления, что и в с. Вашловани. Обрушилась стена хлева. Население ощутило вертикальный удар.

Село Борбало. Село древнее. Основано еще в VII столетии. В селе – 120 домов, из которых 36 закрыто из-за отсутствия хозяев. Новые дома строятся на фундаментах старых. В домах значительные повреждения. Типичные повреждения застройки – трещины в каменной кладке. Некоторые трещины появились после



*Рис. 3. Село Кумиси.
Дом В. Мдивнишвили*



*Рис. 4. Село Джорджиашвили.
Дом В. Окуашвили*



*Рис. 5. Село Гoubани. Повреждения
кладки стены из силикатного кирпича*



*Рис. 6. Село Гoubани. Обрушение
части каменной стены*

Спитакского землетрясения (Армения, 1988). В 2-х этажном доме К. Иремашвили, построенном в 1975 году – повреждения 1-2 степени. Внутренние несущие стены повреждены значительно. В жилых домах АСМ отсутствуют. Во время исследуемого землетрясения трещины расширились, появились трещины по контуру перекрытия, а также между стеной и пристроенной плитой балкона с лестницей.

Житель села К. Иремашвили сообщил, что они ощутили вертикальный удар. Послышался гул. Паника. Население выбежало на улицы.

Село Гоубани. Село состоит из 200 домов и располагается на холме. Наибольшие разрушения – в застройке верхней части села, расположенной на вершине холма. Дома здесь, в основном, фундаменты на глубине около 1 м на желтую глину. Мощность глины 4-5 м, ниже – галечники и глинистые сланцы. Дома не имеют АСМ. В домах повсеместно имеются повреждения (1-2 степень). Дома из силикатного кирпича получили повреждения более высокой степени – 2 и выше (рис. 5). Наблюдались также повреждения в кладке в некоторых зданиях с АСМ. В кладке хорошего качества, как правило, повреждений не было. Двухэтажный дом А. Петриашвили с каменным цоколем и оштукатуренной стеной из блоков имел железобетонный пояс на уровне второго этажа. В стенах, тем не менее, появились трещины. Вертикальная трещина образовалась с верха цоколя, и прошла выше через пояс. Наблюдались вертикальные трещины в пересечениях стен, в углах проемов. В соседних домах наблюдались горизонтальные контурные трещины в перекрытии и в уровне верха оконных проемов шириной 2-4 мм. Также наблюдались трещины в углах проемов и в подоконной кладке (повреждения 2 степени).

Отдельные дома (рис. 7, 8) получили повреждения 4 степени. Двухэтажный дом Макаришвили имеет вертикальные трещины (повреждения 3 степени). Двухэтажный дом Н. Султанишвили, построенный в 1965 г. без АСМ получил повреждения 4 степени. К дому примыкает более новая пристройка на бетонном цоколе. Здесь обрушилась задняя стена (рис. 6). Грунтовые воды в селе отсутствуют.

Жители села Л. Гиоргашвили и О. Султанишвили сообщили, что при землетрясении в верхней части села преобладали горизонтальные колебания. Падала посуда. Слышался гул. Паника. Население выбежало на улицу.

В нижней части села также ощущали гул. По словам жителей, ощущался вертикальный толчок, а сама продолжительность землетрясения по сравнению со Спитакским землетрясением была намного короче. Тогда тоже был слышен гул.

Село Асурети. Село расположено на противоположном берегу ущелья. Село большое. Гула не было. В зданиях – легкие повреждения (0-1 степень).

Жители ощутили сначала малые, затем большие, продолжительные горизонтальные колебания (очевидно, продольные, затем поперечные и поверхностные волны).

Село Джорджишвили. Село расположено на той же террасе холма. Имеется несколько разрушенных домов (повреждения 4 степени). Вблизи дома самого В. Окуашвили (рис. 4) проявился оползень. В селе отдельные дома типа А получили 4 степень повреждения.

Житель села В. Окуашвили сообщил, что он слышал сильный гул, дребезжала посуда. Колебания грунта – горизонтальные. Паника. Население выбежало на улицы.

Село Энагети. Село большей частью расположено в котловине предгорья. Повреждения 0-1 степени. В некоторых домах – больше. Жители сообщили, что они почувствовали горизонтальные колебания. Слышался гул.

Село Мухати. Село находится в долине. Отдельные здания получили повреждения 1 степени. Был вертикальный толчок.

Село Табахмела. В отдельных домах – повреждения 1 степени. В некоторых домах упала штукатурка, появились трещины. Существующие трещины заметно увеличились. Жители села ощущали горизонтальные колебания, дребезжала посуда.



Рис.7. Село Губани. Повреждения 4 степени.



Рис.8. Село Джорджиасиви.

Село Шиндиси. Село расположено по уровню ниже с. Табахмела. В отдельных домах наблюдались повреждения 1 степени. Жители ощущали вертикальный толчок.

Села Цхнети, Коджори, Кикети. Отдельные дома получили повреждения 1 степени. Жители ощущали вертикальный толчок.

Г. Тбилиси. Сейсмический эффект на большей части территории города не превышал 4 балла. В южной части города, т.е. ближе к эпицентру, проявление землетрясения было выше. Несколько домов старой застройки полностью обрушилось (рис. 9) [Заалишвили и др., 2001б].

На территории г. Тбилиси (12 км от эпицентра) землетрясение ощущалось в виде сильного вертикального толчка и последующих слабых горизонтальных колебаний. Многие жители ощутили испуг.



Рис. 9. Тбилиси. Дом на ул. М. Зичи (повреждение 5 степени).

В обследованных селах распространены типичные для сельской местности двухэтажные жилые дома. Это позволило надежно сопоставлять проявленный эффект землетрясения.

Анализ материалов инженерного макросейсмического обследования эпицентральной зоны показывает, что сейсмический эффект в районе сел Гoubани, Вашловани, Эрциси и северо-западной части Борбало превышал интенсивность 6 баллов. Весьма интересно проследить особенности распространения сейсмических волн в зависимости от рельефа. На вершине холмов, как правило, преобладали горизонтальные колебания и в нижней части сел – вертикальные. Например, глубокое ущелье, расположенное между селами Борбало и Асурети весьма заметно «экранировало» с. Асурети от сейсмического воздействия.

На основе анализа полученного материала была построена карта изосейст в технологии GIS (рис. 10).

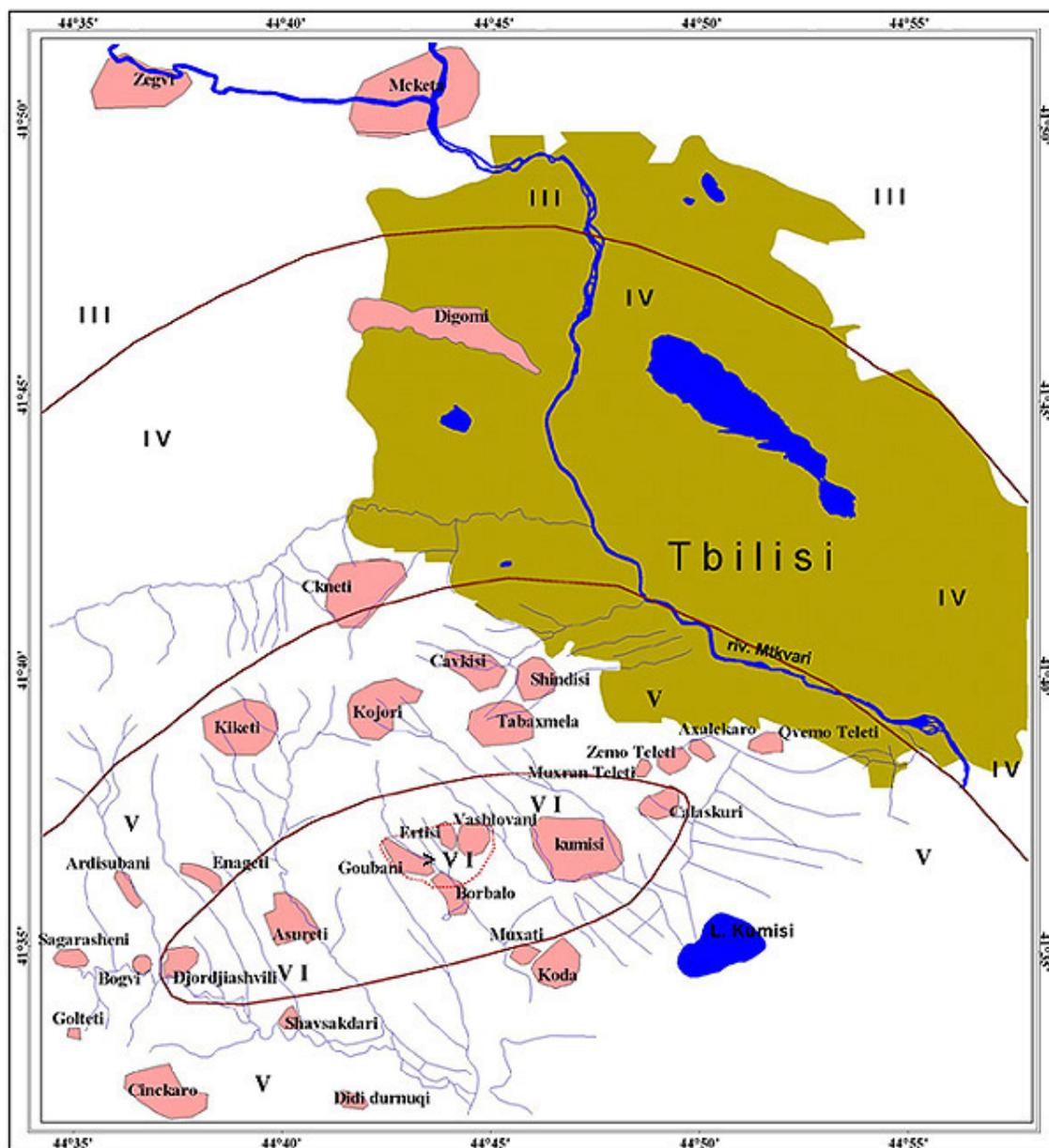


Рис. 10. Изосейсты землетрясения от 14 декабря 2000 г.

Выводы

1. Анализ материалов инженерного макросейсмического обследования эпицентральной зоны показывает, что сейсмический эффект в районе сел Гoubани, Вашловани, Эрциси и северо-западной части Борбало, т.е. в эпицентре, превышал интенсивность 6 баллов.

2. В ближней зоне разрушительного землетрясения в спектральном составе сейсмического воздействия проявилась предварительная вертикальная высокочастотная (ВЧ) составляющая, значительно превышающая по амплитуде т.н. «основной» сигнал на всех трех составляющих.

3. Появление большой амплитуды ВЧ составляющей сигнала сопутствует неупругим явлениям в среде и выявляется на ближних расстояниях от источника. На это указывают результаты исследований записей в ближней зоне сильных землетрясений и также специальных экспериментах.

4. Преобладание горизонтальных колебаний на вершинах холмов обусловлено их раскачиванием и сильным поглощением ВЧ сигнала.

5. Необходимо отметить особенности частотного состава и распространения сейсмических волн в зависимости от рельефа. На вершине холмов, как правило, преобладали горизонтальные колебания и в нижней части сел – вертикальные. Например, глубокое ущелье, расположенное между селами Борбало и Асурети весьма заметно «экранировало» с. Асурети от сейсмического воздействия.

6. Анализ особенностей проявления Гoubанского землетрясения показал, что большей частью были значительно повреждены и разрушены жесткие здания и сооружения.

Литература

1. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. – Москва, 2000, 367с.
2. Заалишвили В.Б., Одишария А.В. Тимченко И.Э. Отинашвили М.Г. Гогмачдзе С.А. Заалишвили З.В. Инженерное макросейсмическое обследование эпицентральной зоны землетрясения 14 декабря 2000 г. Теория сооружений и сейсмостойкость, №2. – Тбилиси: ИСМИС им. К.С. Завриева АН Грузии, 2001а, С.51-59.
3. Заалишвили В.Б., Чачава Н.Т., Гогмачдзе С.А. Вопросы сейсмического риска старых районов г. Тбилиси (груз). Теория сооружений и сейсмостойкость, №2. – Тбилиси: ИСМИС им. К.С. Завриева АН Грузии, 2001б, С.81-90.
4. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Харебов А.К. Анализ инструментальных записей схода ледника колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра. 2004. Т. 4. №3. С. 58-64.
5. Заалишвили В.Б., Тотиева-Туаева Ж.Д. Механизмы формирования нелинейно-неупругих явлений, обусловленных нано-размерными частицами среды при интенсивных воздействиях. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М.: ВНИИГПИ, №2. 2010 с.26-30.
6. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской академии наук. 2010. С. 251-262.

7. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт //Геология и геофизика Юга России. 2011. № 1. С. 48-58.

ENGINEERING MACROSEISMIC SURVEY OF EPICENTRAL AREA OF THE EARTHQUAKE ON 14 DECEMBER 2000

© 2014 V.B. Zaalishvili^{1,2}, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., A.V. Odishariya², I.E. Timchenko², research scientist, M.G. Otinashvili², senior research scientist, S.A. Gogmachadze^{3,4}, senior research scientist, Z.V. Zaalishvili⁵, post-graduate student

¹Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre RAS and RNO-A, Markova str. 93a, Vladikavkaz, Russia, 362002, E-mail: cgi_ras@mail.ru, ²K.S. Zavriev Institute of Structural Mechanics and Earthquake Engineering of Georgian Academy of Sciences, 0193, Tbilisi, Georgia, M. Alexidze str., 1, block 8.

³Enterprise of geological and geophysical investigations, Tbilisi, Georgia, ⁴Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 0179, Tbilisi, Georgia, Chavchavadze Avenue, 1, e-mail: example@tsu.ge, ⁵Institute of Economy of Georgian Academy of Sciences, Tbilisi, Georgia, G. Kikodze str., 14, e-mail: economics_institute@yahoo.com

The analysis of earthquake that occurred in 2000 on the territory of Georgia is given. The special expedition was organized by the Institute of Structural Mechanics and Earthquake Engineering of Georgian Academy of Sciences. The residents of the settlements, that were in the earthquake zone were interviewed. Based on analysis of the material obtained was built isoseists map using GIS technologies.

Keywords: earthquake, accelerogram, engineering macroseismic survey, damage, isoseisms.

УДК 699.84

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

© 2014 В.Б. Заалишвили¹, д.ф-м.н., проф., Я.Л. Кранцфельд², инж.

¹Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

²ООО «Теплоэлектропроект-СОЮЗ», Харьков, Украина, 61052, Харьковская
обл., пер. Симферопольский, д. 6, e-mail: office@tep-soyuz.com.ua

Для создания систем экранирования с целью снижения уровня воздействия при сильных землетрясениях необходимо знание вида и физического состояния грунтовой толщи. Таким показателем являются скорости распространения продольных и поперечных волн в том или ином виде грунта и находящимся в некотором состоянии.

На основе большого анализа фактического материала были составлены гистограммы распределения значений скоростей, как в различного вида грунтах, так и в грунтах одного вида, с различными физико-механическими показателями.

Наличие большого фактического материала позволило получить корреляционные зависимости между плотностью и скоростью распространения поперечных волн. Наличие подобных данных, позволяющих прогнозировать вероятностные значения скоростей поперечных волн и отсюда, соответствующих плотностей грунтов, позволяет повысить обоснованность и контролируемость их значений, как при работах по экранированию зданий и сооружений, а также при оценках сейсмической опасности грунтов.

Ключевые слова: инженерная сейсмозащита, экранирующие свойства грунтов, скорости волн, плотность.

Идея оценки и учета экранирующих свойств слоев грунтов, различных по своим физико-механическим характеристикам, была высказана выдающимся геофизиком и сейсмологом Г.А. Гамбурцевым еще в 40-х годах минувшего века, а в 1950 г. были опубликованы результаты первой научной работы в этой области [Берзон, Епинатьева, 1950]. Эта публикация, в основном, была посвящена экспериментальной стороне задачи, и поэтому Г.А. Гамбурцев в 1951 г. на совещании в Геофизическом институте АН СССР предложил специалистам кафедры теории упругости Ленинградского университета (Г.И. Петрашень и его известная школа) разработать математическую основу и теоретическую базу для всестороннего рассмотрения эффектов сейсмического экранирования. Первые итоги этих теоретических исследований появились в технической литературе в 1954 г. [Петрашень, 1954].

Следует отметить, что и сам Г.А. Гамбурцев, и те, кто развивал его идеи, рассматривали экранирующие свойства горизонтальных и наклонных слоев в плоскостях их контакта в слоистом грунтовом массиве для оценки возможности использования закономерностей геометрической оптики и акустики для учета экранирования, как фактора, влияющего на законы геометрической сейсмики, используемые в сейсмической разведке. Тем не менее, эти пионерные работы дали толчок развитию волновой механики грунтов и поискам в области создания искусственных вертикальных

экранов-преград и экранов-отражателей для снижения уровня сейсмических воздействий на огражденной такими экранами территории.

Априори было известно, что экраны, которые должны были располагаться вертикально, преграждая волнам путь к защищаемому сооружению, не могли быть универсальными и абсолютно надежными. Наиболее эффективны они могут быть в тех случаях, когда очаги землетрясения определенно известны, удалены на значительные расстояния и, при этом имеют неглубокое заложение. Примерно в таких условиях находится Европейская часть бывшего СССР, для которой пока лишь весьма удаленная Карпатская группа возможных очагов землетрясений (ВОЗ) является источником реального сейсмического воздействия.

Первые практические опыты использования сейсмозащитных экранов имели место в гидротехническом строительстве, а точнее – в области создания плотин из грунтовых материалов [Натариус, 1984; Савинов, 1992].

Наиболее полное описание мирового опыта защитного антисейсмического экранирования грунтовых плотин можно найти в монографии Я. И. Натариуса [Натариус, 1984]. Там же приводятся результаты оценки эффективности применения экранов для защиты этих инженерных сооружений.

В связи с тем, что гидротехническое строительство имеет свой особый путь развития, его достижения не всегда становятся достоянием теории и практики промышленного и гражданского строительства, несмотря на сходство и даже общность целого ряда технических задач. Так произошло и с сейсмозащитными экранами.

Эта ситуация не исключила усилий отдельных энтузиастов в их попытках освоить сейсмозащитное экранирование. Во второй половине минувшего века появилось несколько конструктивных разработок, признанных изобретениями, а также несколько технических публикаций, содержащих практические рекомендации по реализации этой идеи [Мелик-Елчян, Акопян, 1980]. Однако, в связи с изменением в 90-х годах конъюнктуры и отсутствием преемственности при естественной смене поколений специалистов в тот период, эти усилия не были продолжены.

Что же сегодня мешает реализации этой идеи, если при этом учесть более чем полувековой период достаточно интенсивного развития волновой механики грунтов?

Теоретические основы волновой механики грунтов, как новой научной отрасли, заложили в 50-х годах прошлого века Г. И. Петрашень, а также С. С. Григорян и Х. А. Рахматулин. Затем в последующие годы с использованием предложенных ими методов был рассмотрен целый ряд частных случаев и специальных задач, включая те, что касались прохождения волн в слоистых средах, моделирующих естественное строение грунтов, в том числе экранированных и т. п. Тем не менее, весь этот достаточно мощный научный штурм общих и частных проблем волновой механики практически никак не отразился в нормативных документах (НД) и потому не мог повлиять на решение прикладных задач строительства в сейсмических районах и, в первую очередь, по обеспечению сейсмостойкости естественных оснований.

В нормативных документах, действующих в настоящее время в РФ, возможность экранирования волн в грунтах прямо упомянута лишь однажды – в [СП 50-101–2004, 2005], в разделе 6.13 «Особенности проектирования зданий и сооружений, возводимых вблизи источников динамических (не сейсмических) воздействий»:

«Для выполнения требований расчета оснований по несущей способности и по деформациям рекомендуется снижать параметры динамических воздействий

в их источнике (замена технологического процесса, перемещение источника, регулирование в источнике, активная виброизоляция и др.) или *на путях распространения колебаний от источника (устройство экранов в виде стенок или траншей, изменение массы фундамента-приемника колебаний или жесткости его основания и др.)*.

Кроме того, в [Строительство ..., 2001] включены рекомендации по уменьшению расчетной сейсмичности площадки строительства на один балл путем преобразования физико-механических свойств грунтов III категории и перевода их во II категорию по сейсмическим свойствам, фактически, сводящихся к повышению средних скоростей распространения поперечных волн в грунте с уровня $180 \div 350$ (м/с) до $350 \div 650$ (м/с), для чего предлагается использовать различные способы уплотнения грунтовых массивов естественного сложения.

Развитие этих положений и попытка их теоретического обоснования содержится в [Червинский и др., 2008], где в состав геотехнических процедур, уменьшающих уровень сейсмического воздействия на объект строительства, включены также: замена водонасыщенных слабых грунтов, их армирование и цементация. Следует отметить, что в [Строительство ..., 2001] и [Червинский и др., 2008] по сути дела рассматривается взаимодействие горизонтальных слоев грунта. При этом основная часть публикации [Червинский, 2008] посвящена упрощенной оценке отдельных случаев экранирования сейсмических волн в грунтах не вертикальными преградами, а плоскостями контакта горизонтальных слоев грунтов, т. е. задаче практически решенной в 50-х годах школами Г. А. Гамбурцева и Г. И. Петрашеня.

Методы расчета и конструирования такого рода экранов в указанных нормативных документах не указаны, и, вероятно, в данном случае имеется в виду метод проб.

Для разработки подробных и продуктивных нормативных документов по созданию сейсмозащитных экранов, прежде всего, должна быть упорядочена и уточнена исходная информация об используемых в волновой механике грунтов динамических свойствах материалов для их целенаправленной компоновки при формировании преград на путях распространения сейсмических волн.

Для практических расчетов, связанных с волновой механикой грунтовых массивов, имеющих, как правило, слоистое строение, необходимо достаточно точное знание таких параметров, как модуль упругости (Юнга) E , плотность ρ , коэффициент Пуассона μ и модуль сдвига G для каждого слоя (типа) грунтов, входящих в эти массивы. И именно с формированием достоверных значений этих исходных данных возникают определенные трудности, причина которых кроется в особенностях физико-механических свойств реального грунта, как материала.

В современной инженерной практике естественное грунтовое основание зданий и сооружений рассматривается как упруго-вязкая, линейно-деформируемая и безинерционная среда, упругие свойства которой характеризуются коэффициентами упругого равномерного и неравномерного сжатия и сдвига, а диссипативные свойства – соответствующими характеристиками демпфирования. Однако некоторые важные для практических задач особенности этой общепринятой механической модели грунта в его естественном состоянии связаны с различиями в поведении грунта, как материала, при различных видах внешнего воздействия, а именно:

- при статическом приложении нагрузок;
- при продолжительных динамических воздействиях от стационарных источников вибрации;

– при кратковременных динамических нагрузках, продолжительность воздействия которых обычно измеряется долями секунды (взрывы, природная и промышленная сейсмика и т. п.).

В первом случае критерием надежности грунтового основания являются величины его предельно допустимых равномерных и неравномерных деформаций (осадок, кренов), возникающих при продолжительном не знакопеременном воздействии вертикальных и горизонтальных нагрузок. Для расчета этих показателей было введено понятие «модуль деформации» $E_{\text{деф}}$, представляющий собой характеристику, аналогичную модулю упругости (модулю Юнга) для упругих изотропных тел.

Во втором случае, учитывая динамический характер воздействия и известное явление виброуплотнения грунтовых массивов, – естественных оснований – был введен новый комплекс специальных упругих характеристик – коэффициентов упругого равномерного и неравномерного сжатия и коэффициентов жесткости, зависящих, в частности, от геометрических параметров источника колебаний.

Что касается третьего случая, относящегося к волновой механике грунтов, то оба, описанных выше подхода к формированию расчетных упругих характеристик естественных оснований для математического описания практически мгновенных динамических воздействий оказались не пригодными, так как определенные опытным путем значения скоростей продольных и поперечных волн V_L и V_s существенно отличались (в большую сторону) от расчетных значений.

Первыми с указанными проблемами при решении своих технических проблем столкнулись специалисты-гидротехники. При этом, определение модулей упругости грунтов на основе зависимостей «напряжение-деформация» при первичном нагружении, например, путем компрессионных испытаний или полевых штампо-опытов и т. п., оказалось невозможным. Это обусловило привлечение научных учреждений, обслуживавших эту отрасль (ВНИИГ, НИС Гидропроекта), когда были реализованы практические методы определения динамических характеристик естественных оснований при воздействиях волнового типа, получившие название «сейсмических методов исследования грунтов». Модули определенные этими методами именуется «динамические модули упругости» и обозначаются $E_{\text{дин}}$.

Изучение закономерностей распространения и взаимодействия волн в грунтах с использованием принципов геометрической сейсмики для нужд инженерной сейсмологии и сейсморазведки, а затем и строительного дела, как уже отмечалось, было начато еще в первой половине минувшего века. За этот период накопилась обширная база данных о реальных скоростях продольных и поперечных волн, а также, имеющих большое значение для оценки сейсмостойкости зданий и сооружений, поверхностных волн (Релея) для различных типов реальных грунтов. Однако эта информация до настоящего времени не систематизирована, о чем свидетельствуют существенные расхождения в их скоростных характеристиках, содержащихся в некоторых нормативных документах и технической литературе.

Подобная неопределенность в большей или меньшей степени наблюдается в имеющейся информации о скоростных характеристиках движения волн в других видах грунтов (скальных, крупнообломочных, пылевато-глинистых, лёссовых и т. п.) и объясняется высокой чувствительностью волновых характеристик к любым, даже самым незначительным различиям в химическом и гранулометрическом составе образующих грунт материалов, в их плотности и степени водонасыщения в естественном сложении, в уровнях напряженного состояния оснований, что подтверждено многими натурными исследованиями в 1950-1990 гг., результаты которых, к сожалению, пока не до конца проанализированы и не обобщены.

В условиях, когда Северный Кавказ не является-таки уж спокойным регионом по своим последствиям по сравнению с южным Кавказом, где только в одном XX столетии произошли сильнейшие землетрясения (Карталинское, Спитакское, Рачинское и т. д.), говорить о слабой сейсмической опасности, к сожалению, не приходится. Действительно, если даже не учитывать сильное Дагестанское землетрясение 1970 года, здесь даже редко спокойные периоды перемежаются, в определенном смысле, девиациями, последствия которых все также негативны [Керимов, Гайсумов, 2009; Керимов, Гайсумов, 2010]. При этом не следует исключать из рассмотрения землетрясения, обусловленные техногенной сейсмичностью, например, на месторождениях нефти и газа [Керимов и др., 2012].

В этой связи представляется интересным и, более того, необходимым уделить внимание одной из сторон указанной проблемы.

Вероятностная оценка значений скоростей сейсмических волн в грунтах различного вида

На основе большого фактического материала были составлены гистограммы распределения значений скоростей, как в различного вида грунтах, так и в грунтах одного вида, с различными физико-механическими показателями (рис. 1-4).

Для выравнивания статистических данных используем нормальный закон распределения [Вентцель, 1969]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где m – математическое ожидание; σ – среднеквадратическое отклонение; x – случайная величина (скорость).

Нормальный закон распределения зависит от двух параметров: m и σ . Определив для каждой гистограммы m и σ , получим выравнивающую ее кривую распределения. Из графиков видно, что осредненные кривые распределения $f(x)$, сохраняя, в основном, существенные особенности статистического распределения, свободны от некоторых неправильностей хода гистограммы, которые определяются случайными причинами.

Для коренных пород нормальное распределение неявно выражено в связи с тем, что скорости поперечных волн сильно зависят от степени выветрелости этих пород.

Тем не менее, определенные всплески максимумов можно обнаружить, суммируя все скорости в один ряд-гистограмму. Указанные максимумы соответствуют наиболее вероятным последовательным значениям для сильно выветрелых, выветрелых, слабо выветрелых и невыветрелых грунтов, соответственно (рис. 4). В каждом распределении наибольшие значения занимали, как правило, известняки и аспидные сланцы. Песчаники, мергели, алевролиты, глинистые сланцы на графике расположены левее.

Наличие большого фактического материала позволило получить корреляционные зависимости между плотностью и скоростью распространения поперечных волн. Аналогичные зависимости приведены в работе [Назаров, Шемшурин, 1977], но их практическое использование не всегда согласуется с полевыми материалами, что объясняется, во-первых, очевидно, особенностями грунтов в регионе, а, во-вторых, тем, что применение единого уравнения вида $\rho = f(v_s)$ всех типов грунтов приводит к определенным погрешностям. Особенно это справедливо для коренных пород [Faust, 1951].

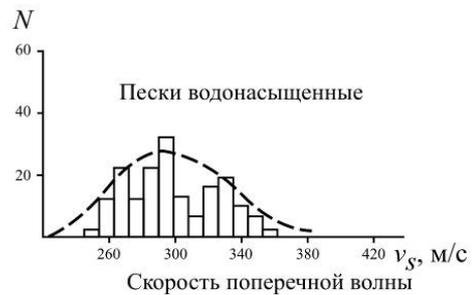


Рис. 1. Гистограммы распределения скоростей поперечных волн в связных грунтах

Рис. 2. Гистограммы распределения скоростей поперечных волн в сыпучих грунтах

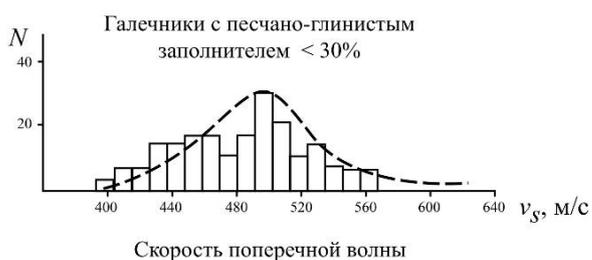
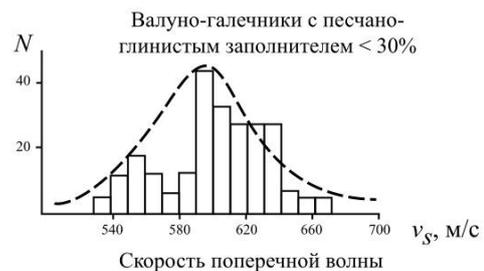
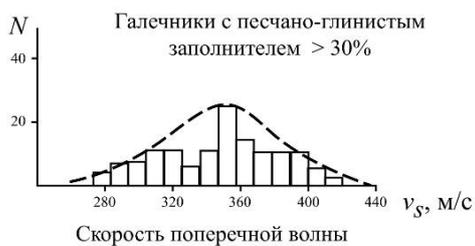


Рис. 3. Гистограммы распределения скоростей поперечных волн в крупнообломочных грунтах

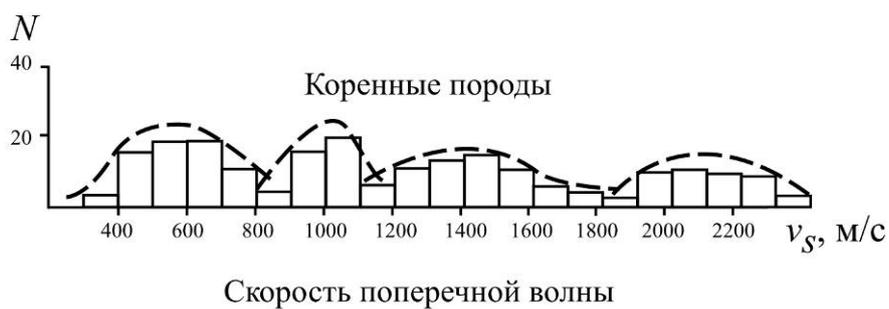


Рис. 4. Гистограммы распределения скоростей поперечных волн в грунтах

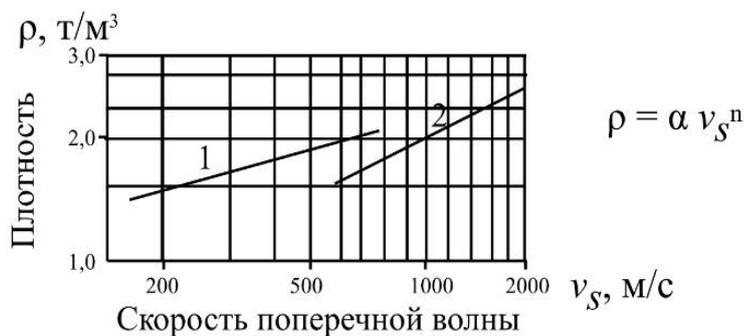
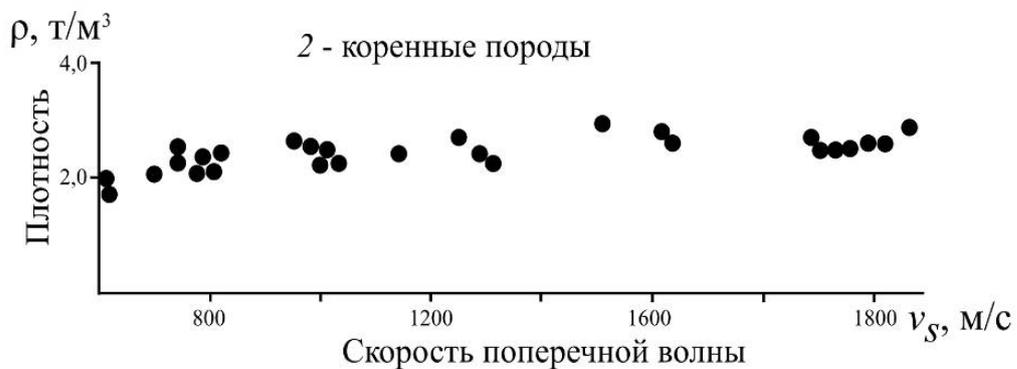
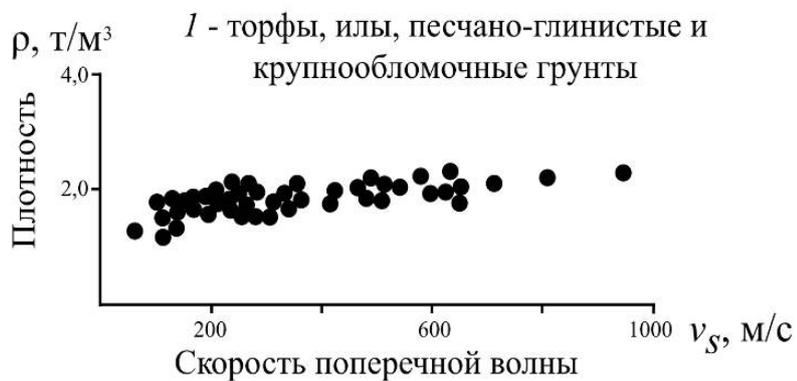


Рис. 5. Зависимость плотности грунтов от скорости поперечной волны в них

В табл. 1 приведены корреляционные зависимости для различных видов грунтов, полученные на основе анализа материалов инженерно-геологической разведки и полевых измерений скоростей в различных районах Грузии и Северной Осетии [Заалишвили, 1986; Заалишвили, 2000].

Плотность песчано-глинистых и крупнообломочных грунтов можно с достаточной точностью рассчитать единой зависимостью

$$\rho = 2,4v_s^{0,2}. \quad (2)$$

Плотность коренных пород рассчитывается по формуле:

$$\rho = 2,4v_s^{0,4}. \quad (3)$$

Таким образом, появляется возможность оценки плотности грунтов без проведения специальных инженерно-геологических изысканий (рис. 5).

Таблица 1.

Зависимость скорости поперечных волн от плотности грунтов

Виды грунтов	Диапазон изменения скорости поперечных волн, м/с	Вид корреляционной зависимости αv_s^n	Диапазон изменения плотности грунтов
Песчано-глинистые (торф, илы, пески, глины, суглинки, супеси), грунты	80-400	$2,4 v_s^{0,2}$	1,45-2,0
Крупнообломочные грунты всех видов	180-800	$2,4 v_s^{0,2}$	1,70-2,3
Коренные породы (известняки, аспидные сланцы, глинистые сланцы, туфо-брекчии, песчаники)	800-2100	$2,0 v_s^{0,4}$	1,63-2,7

Истинные значения скоростей поперечных волн, полученные на соответствующих грунтах при встречных системах наблюдений, определялись по известной формуле [Богуславский, 1974]:

$$v_s = \frac{2\bar{v}_s \bar{v}_s}{\bar{v}_s + \bar{v}_s}, \quad (4)$$

где \bar{v}_s, \bar{v}_s – скорости, полученные при встречных наблюдениях на профиле.

Чтобы уточнить уже известную по материалам инженерно-геологической разведки глубину залегания грунтов исследуемой толщи, использовались также известные формулы [Горяинов, Ляховицкий, 1979]:

$$\begin{cases} h_n = \frac{x_{n(n+1)}}{2} \sqrt{\frac{v_{n+1} - v_n}{v_{n+1} + v_n}} - \sum_{k=1}^{n-1} h_k N_{kn}, \\ N_{kn} = \frac{\cos i_{k(n+1)} - \cos i_{kn}}{\cos i_{kn} \cos i_{n(n+1)}}, \end{cases} \quad (5)$$

где $x_{n(n+1)}$ – точка пересечения годографов; v_n, v_{n+1} – скорости сейсмических волн в соответствующих слоях; $\sin i_{kn} = v_k / v_n$.

Таблица 2

Скорости поперечных волн в грунтах

Вид и литологический состав грунта	Интервал скоростей с вероятностью $\beta = 0,8$, $v_{S1} - v_{S2}$, м/с	Средняя скорость v_S , м/с	Средне-взвешенная плотность $\bar{\rho}$, т/м ³	Приращение балльности ΔI , балл	Категория грунта
Пески рыхлые	80-140	110	1,6	2,52	III
Суглинок (глина): мягкопластичный	130-210	170	1,7	2,16	III
полутвердой консистенции	210-270	240	1,83	1,86	III
Пески водонасыщенные	270-330	300	1,9	1,67	III
Галечники с песчано-глинистым заполнителем:					
более 30%	320-380	350	1,95	1,54	III
менее 30%	440-540	490	2,0	1,23	II
Валунно-галечниковые отложения с песчано-глинистым заполнителем менее 30%	570-630	600	2,1	1,1	II
Глыбы с песчано-глинистым заполнителем менее 30%	660-760	710	2,2	0,94	I
Коренные породы:					
сильно выветрелые	450-710	580	1,7	1,27	II-III
выветрелые	940-1110	1020	2,3	0,61	I-II
слабо выветрелые	1310-1570	1440	2,5	0,32	I
невыветрелые	1930-2270	2100	2,7	–	I

Скорость распространения сейсмических волн в грунте обусловлена целым рядом физико-механических показателей, причем для каждого вида грунта, находящегося в определенном состоянии, значения этой скорости имеют некоторой разброс. В табл. 4.4 приведены границы доверительного интервала значений скорости поперечных волн, соответствующего доверительной вероятности $\beta = 0,8$.

Невыветрелые коренные породы по своим сейсмическим свойствам согласно СНиП [Строительные нормы..., 1982], несомненно, относятся к грунтам I категории. На поверхности, как правило, распространены скальные грунты различной выветрелости. При использовании в качестве эталонных грунтов выветрелых скальных пород градация в принципе согласуется с данными СНиП.

Таким образом, рассчитывая приращения балльности, в качестве значений скоростей поперечных волн можно использовать их наиболее вероятные значения из доверительных интервалов табл. 2. для соответствующих видов грунтов с конкретными физико-механическими свойствами.

Наличие подобных данных, позволяющих прогнозировать вероятностные значения скоростей поперечных волн и отсюда, соответствующих плотностей грунтов, позволяет повысить обоснованность и контролируемость их значений при СМР.

Следует отметить, что в настоящее время возобновляется интерес специалистов к проблеме экранирования сейсмических волн в грунтовых основаниях строительных объектов. Два весьма содержательных доклада по этой тематике были прочитаны на VIII российской национальной конференции по сейсмическому строительству в 2009 г. Наконец, имеются сведения о разработке в Институте Френселя (Франция) и Ливерпульском университете (Англия) конкретных конструкций ори-

гинальных сейсмозащитных экранов, преобразующих разрушительные сейсмические волны в безопасный белый шум в грунтах непосредственно в зонах расположения и опирания фундаментов зданий и сооружений.

Выводы:

1. В связи с ужесточением нормативных требований в части обеспечения сейсмостойкости действующих и строящихся АЭС и других ответственных объектов, не следует пренебрегать любой возможностью повышения их надежности при землетрясениях.

2. К числу возможностей относится такой инновационный вид сейсмоизоляции как сейсмозащита территорий и естественных оснований зданий и сооружений путем экранирования.

3. Основной эффект сейсмозащитного экранирования связан с гашением (путем отражения или преобразования) наиболее опасных для наземных объектов поверхностных волн (волн Релея), интенсивность которых быстро убывает по глубине.

4. Для реализации технических решений рассматриваемого типа необходимо:
– упорядочение имеющейся информации о волновых характеристиках всего спектра грунтов естественного сложения с уточнением зависимости этих характеристик от различных факторов и с соответствующей таким зависимостям дифференциацией исходных сведений о составах и состояниях грунтов;

– разработка новых принципиальных схем экранов, в том числе – с использованием в их композиции не грунтовых, а, например, полимерных материалов;

– натурные испытания образцов экранов, отобранных для практического применения.

Литература

1. Берзон И.С., Епинатьева А.М.: О сейсмическом экранировании. Известия АН СССР. Серия географическая и геофизическая, том XIV, №6. М. Издательство Академии наук СССР, 1950, с.473-500.

2. Богуславский Ф.М. Дифференциация верхней части разреза по скоростям упругих волн для целей сейсмического микрорайонирования // Элементы методики сейсмического микрорайонирования. Кишинев, Штиинца, 1974, С. 28-44

3. Горяинов Н.И., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 144 с.

4. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М., Наука, 1969, 576 с.

5. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Тбилиси, 1986.

6. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 367с.

7. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Курчалоевское землетрясение 11 октября 2008 г. // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2009. №2 (11). С.48-53.

8. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Сильные землетрясения на территории Чеченской Республики // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2010. №1 (12). С.57-62.

9. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С. Техногенная сейсмичность

на месторождениях нефти и газа // Геология и геофизика Юга России, 2012. № 1. С.22-45.

10. Мелик-Елчян А.Г., Акопян К.А. Рекомендации по повышению сейсмостойкости зданий методом экранирования сейсмических волн. Тула. Приокское книжное издательство, 1980-137с.

11. Назаров Г.Н., Шемшурин В.А. Использование инженерно-геологических характеристик при сейсмическом микрорайонировании // Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1977. С. 137-143.

12. Натариус Я.И. Повышение сейсмостойкости плотин из грунтовых материалов. М. Энергоиздат, 1984-88 с.

13. Петрашень Г.И. Постановка задач на сейсмическое экранирование волн тонкими слоями и методы их решения. Ленинградский государственный университет. Ученые записки. №177. Серия математических наук. Выпуск 28. Л. Издательство ЛГУ. 1954. с. 5-104.

14. Савинов О.А. Полвека в мире механических колебаний. СПб. Стройиздат. Санкт-Петербургское отделение. 1992. с. 249.

15. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. Москва. 2005.

16. Строительство в сейсмических районах Краснодарского края, СНКК 22-301-2000 (ТСН 22-302-2000 Краснодарского края), Краснодар, 2001, п.п. 2.1.45÷2.1.48.

17. Червинский Я.И., Моргунова Н.В., Домбровский Я.И., Ващук С.В., Исследование влияния искусственного преобразования грунтовых массивов на сейсмичность площадок строительства зданий. «Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник», випуск №69. «Будівництво в сейсмічних районах України», Київ, НДІБК, 2008, с.347-352.

18. Faust L. G. Seismic velocity as a function of depth and geologic time // Geophysics. 1951. Vol. 16. No 2.

GEOPHYSICAL BASIS OF ENGINEERING EARTHQUAKE PROTECTION OF RESPONSIBLE CONSTRUCTION OBJECTS

© 2014 V.B. Zaalishvili¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., J.L. Krantsfeld², engineer.

¹Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre RAS and RNO-A, Markova str. 93a, Vladikavkaz, Russia, 362002, E-mail: cgi_ras@mail.ru,
²LLC «Teploelectroproect-SOYUZ», Ukraine, 61052, Kharkov region, Kharkov city, Simferopol In. 6, e-mail: office@tep-soyuz.com.ua

To create a shielding system with a purpose of impact level reduction at strong earthquakes, it is necessary to know the type and physical condition of the ground layer. Velocities of stress and shear waves in one or another form of the soil being in a certain state are such indicators.

The histograms of velocity values were composed on the basis of wide analysis of factual material, as in various types of soils so in soils of one type, with different physical and mechanical properties.

The availability of a lot of factual material made it possible to obtain correlations between density and propagation velocity of shear waves. The availability of such data that allows to predict the probability values of shear wave velocities and hence the corresponding densities of the soil, can improve the validity and accountability of their values, as when working on shielding of buildings and constructions so for assessment of seismic hazard soils.

Keywords: engineering earthquake protection, shielding properties of soils, wave velocity, density.

УДК 550.8.028 (056)

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ (МПВ) И ГЕОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРЕЗА РОКСКОГО ТОННЕЛЯ

© 2014 Х.О. Чотчаев, с.н.с., В.Д. Шепелев

Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

Рассматривается вопрос реконструкции Рокского тоннеля и проблемы, связанные с ним. Сделано детальное изучение пород вдоль горных выработок для дифференцирования разреза на отдельные блоки. Проведены геофизические исследования, а также горнопроходческие работы по реконструкции деривационной выработки.

Ключевые слова: комплексирование, геофизические исследования, геолокационное зондирование.

Стратегическое значение Транспортной Кавказской автомобильной магистрали в современной региональной политике явилось основной причиной огромных инвестиций в реконструкцию существующего тоннельного комплекса и в строительство новых объектов дорожного сервиса в виде дополнительных тоннелей и защитных галерей. Справедливости ради следует сказать, что необходимость капитального ремонта транспортного тоннеля назрела давно, если учесть низкое качество принятого в эксплуатацию тоннельного сооружения, незащищённость отдельных участков трассы от камнепадов, селевых и лавинных сходов, что в комплексе служили причиной временного прекращения движения по Транскаму на участке Бурон – км 93+300 (транспортный тоннель). Особые условия накладывает нахождение тела туннеля на территории с высокой сейсмической опасностью мощных близлежащих разломов [Заалишвили, Рогожин, 2010]. Анализ современных вероятностных карт сейсмической опасности, построенных с учетом потенциала разломов, показывает ее повышенный уровень [Заалишвили и др., 2011].

В известных конфликтных событиях, при переброске миротворческого контингента, кроме технического износа тоннельного комплекса, выявились и стратегические упущения, связанные с одновременным использованием транспортного и деривационного тоннелей.

Отметим ещё одну особенность состояния этой магистрали и в особенности её тоннельного комплекса. Выработки проходились встречными забоями: с юга грузинскими специалистами, с севера – российскими. Геологическая документация так же велась раздельно и к моменту ввода комплекса в эксплуатацию в конце 1984 года, геологическая информация не была систематизирована, отчёт не был составлен и в соответствующие фонды поступить не мог. Полевые материалы долгое время оставались у исполнителей и в местных фондах полевых партий. Дезорганизация в народном хозяйстве после 1985 года, включая и геологию, из года в год отодвигала составление окончательного отчёта из-за отсутствия финансирования. В 90-е годы исполнители выживали вне геологии, фонды были ликвидированы, по-

левые материалы утеряны. Фактические разрезы выработок уже были замурованы под торкрет бетоном в деривационной штольне и сплошными бетонными стенами почти метровой толщины в транспортном тоннеле. Таким образом, к началу реконструкции тоннельного комплекса геологическая информация ограничивалась данными прогнозной металлогенической карты Горной Осетии [Ольховский, Агибаева, 1973], инженерно-геологическими изысканиями в районе Рокского перевала [Ольховский, Тибилев, 1998], и результатами инженерно-геологических изысканий к проекту по объекту «Реконструкция автомобильной дороги Алагир – Нижний Зарамаг [Кулаев, Кучиев, 2008].

К сожалению, указанные работы характеризуют геологию района по маршрутным наблюдениям и описанием обнажений, орографии, тектоники и не обладают практически никакой информацией о геолого-тектонической ситуации в выработках, расположенных на глубине порядка 950 м от поверхности. Эти работы являются уточнением общего геологического строения Центрального Кавказа [Милановский, Хайн, 1963] и глубинные особенности на уровне выработки не затрагивают

Между тем, для определения масштабов работ по реконструкции тоннельного комплекса, а так же для обеспечения безопасности людей и техники в ходе работ, требовалось детальное знание геологической ситуации в выработках, включая степень тектонической активности отдельных разломов, состояние трещиноватых зон и их причастность к возможным горным ударам, гидрогеологический режим разреза, наличие ослабленных зон, способных к обрушению, физико-механические характеристики пород. Это позволит значительно поднять уровень проводимых работ и исключит возможные неожиданные, трудно объяснимые события, научно обоснованный прогноз которых, тем не менее, необходим [Заалишвили и др., 2004]. Эти особенности геологического разреза были изучены комплексом геофизических методов, включавший способ непрерывного геолокационного зондирования в обеих горных выработках, сейсмические наблюдения (МПВ) [Никитин, 1981] в деривационной штольне, запись микросейсмического фона колебаний и затуханий импульса в зависимости от расстояния с использованием механического источника упругих колебаний [Ляховицкий, Парфиянович, 1964; Заалишвили, 2000]. Геофизические исследования сопровождались бурением ряда горизонтальных и восстающих скважин в характерных точках деривационной штольни, выделенных по аномальному водопритоку, проявлению горного давления в виде повышенной трещиноватости в бетоне или в активных тектонических зонах, выраженных интенсивным обрушением торкрет бетона и обильным капезом по всему периметру выработки.

Комплекс геофизических исследований предусматривал на первом этапе детальное изучение пород вдоль горных выработок для дифференцирования разреза на отдельные блоки, отличающиеся по литологическому составу, структурно-тектоническим особенностям, физическим параметрам, гидрогеологическому режиму. Блоки дополнительно дифференцировались на зоны смятия, трещиноватости, тектонических нарушений и обводнений. На втором этапе каждый обособленный блок исследовался сейсмическим методом, для определения упругих свойств [Павленкова, Смелянская, 1969] пород и отдельных аномальных зон (табл. 1). Используя эти определения, вычислены физико-механические характеристики выделенных пород и блоков (табл. 2).

Анализ данных геолокационного зондирования не подтвердил ожидаемую литологическую дифференцируемость разреза на блоки с контрастными значениями

дielekтрической проницаемости. Крутое залегание пород, незначительная мощность отдельных прослоек в монотонно сменяющихся флишевых пачках обеих свит не способствуют выделению каких-либо коррелируемых границ стратиграфического характера [Епинатьева, 1955]. Общим для волнового разреза является тектоническая дифференцируемость, включая трещиноватость. Плотность тектонических изменений на единицу интервала явилась единственной мерой, характеризующей состояние разреза. Этот параметр в комплексе с геологической информацией [Кулаев, Кучиев, 2008] был использован для выбора участков наблюдения сейсмическими методами, общее количество которых составило 9.

Данные частотного спектра сейсмических записей (рис. 1) использовались для выделения спектральных особенностей [Берзон, 1957] различных тектонических блоков и прогнозирования среди них интервалов с аномальным горным давлением.

На сейсмограммах записи амплитуды колебаний (рис.2) для определения поглощающих свойств пород (рис. 3) наблюдается заметное увеличение видимого периода [Справочник геофизика, 1966; Заалишвили, 2000] колебания с расстоянием, что связано со значительным разуплотнением пород за счёт трещиноватости, обуславливающей значительное поглощение высокочастотных составляющих спектра колебаний [Заалишвили, 2000], что может быть использовано для количественной оценки этого параметра [Гурвич, 1970].

Для оценки физико-механических свойств пород использованы методические рекомендации по применению упругих характеристик пород в экспериментально-статистических формулах и результаты научных исследований [Методические рекомендации, 1976; Методические рекомендации, 1985; Заалишвили, 2000]. Для определения плотности пород можно использовать одну из формул:

$$\gamma = 1,719 + 0,00029V_p \quad (1)$$

$$\text{или } \gamma_{ск} = 1,38 + 0,00033V_p \quad (2)$$

Для рассматриваемого случая коренных пород наиболее приемлема формула:

$$\gamma_{ск} = 0,5/V_S^{0,4} \quad [\text{Заалишвили, 2000}],$$

где V_S в км.

Для вычисления модуля упругости (динамического) E_d , модуля сдвига μ и постоянной сцепления «С» использованы соответственно следующие формулы [Павленкова, Смелянская, 1969; Савич и др., 1969]:

$$E = 102,94 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \cdot \frac{(1+\sigma)(\sigma-2\sigma)}{(1-\sigma)} \cdot V_p^2 \quad (3)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

$$\mu = 102,94 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma \cdot V_S^2, \quad (4) \quad C = 0,0773 \sqrt{\mu} - 0,075 \quad (4)$$

$$\text{или } C = 0,00236V_S - 0,067. \quad (5)$$

Модуль деформации массива вычислен по формулам:

$$E_{деф} = 0,0709V_p + 0,6064V_S - 47,4 \quad \text{или} \quad E_{деф} = 0,773V_S - 36,9 \quad (6)$$

Корреляционные коэффициенты и стандартный уровень ошибок приведенных формул лежат в пределах соответственно 0,75-0,88 и 2-5%.

Из физико-механических свойств горных пород часто используется предел прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$), равный напряжению одноосного сжатия образца, при котором он разрушается. Предел прочности характеризует крепость пород с точки зрения переносимых нагрузок. Расчет $\sigma_{сж}$ неводонасыщенных скальных пород через их упругие свойства выполнен по формуле [Богаченко, Кулик, 1972; Савич и др., 1969]:

$$\sigma_{сж} = \frac{V_p^2 \gamma (1 - 2\nu)}{(1 - \nu) C} \quad (7)$$

($\sigma_{сж}$ – в Па, V_p – в м/с, γ – в кг/м³), где коэффициент C устанавливается путем получения корреляционных связей при экспериментальных геолого-геофизических наблюдениях. Он приблизительно равен: 240 – для рассматриваемых пород (известняки, мергели), 180 – для метаморфических и древних (доюрских) эффузивных пород, 120 – для древних интрузивных пород, 60 для молодых (послеюрских) скальных пород.

Геофизические исследования были нацелены на изучение горно-геологических и горнотехнических задач для инженерного решения проекта реконструкции Рокского тоннельного комплекса и его дальнейшего безопасного функционирования. Если изменения геотехнических условий разреза за время эксплуатации комплекса затрагивают вопросы технологии работ и безопасности в процессе реконструкции, то геотектонические особенности дополнительно требуют прогнозирования и учёта возможных экстремальных осложнений в течение дальнейшей длительной эксплуатации. В период подготовки инженерно-геологического обоснования разреза для проходки тоннельного комплекса изыскания не могли быть обеспечены глубинными геофизическими исследованиями из-за отсутствия кадрового и аппаратного ресурса. Работы ограничились картированием приповерхностных мелких нарушений вдоль профиля, расположенного на высотах до 1100 м над горизонтом тоннеля, результаты которых коррелировать на уровень выработок не имело существенного значения.

Таким образом, геолого-техническое состояние разреза выработок могло базироваться на уровне маршрутных геологических данных без каких-либо количественных и качественных определений параметров и масштабов неблагоприятных факторов воздействия на инженерное сооружение. В этих условиях применение геофизических методов на объекте позволило инструментально уточнить характер возможных событий, их реальные масштабы, основные физико-механические параметры пород, индикаторы геотехнического состояния среды и способы их оценки [Инструкция по применению..., 1977].

Результаты геофизических исследований представлены структурно-тектоническим разрезом вдоль линий полотна транспортной тоннели (рис. 3), а таблицы вычисленных значений физических и механических параметров разреза по отдельным интервалам. Дифференцирование разреза проведено на основе воздействия структурных особенностей разреза на волновую картину геофизических полей. Учёт литологического состава флишевой толщи, признанного не содержащим маркирующих границ по диэлектрической проницаемости, не проводился.

Таблица 1

**Скорости продольных (V_p), поперечных (V_s) волн
и коэффициент Пуассона (σ)**

№ точки	№ профиля	V_p , m/s	V_s , m/s	V_s/V_p	Коэффициент Пуассона
					$\sigma = \frac{0.5 - \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2}{1 - \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2}$
1	PR0001-P0001	2690	1570	0,584	0,242
	PR0003-P0004				
	PR0003-P0003				
	PR0004-P0004				
2	PR0005-P0001	2475	1400	0,566	0,264
	PR0007-P0004				
	PR0006-P0002				
	PR0007-P0006				
3	PR0008-P0001	2960	1660	0,560	0,272
	PR0008-P0008				
	PR0009-P0002				
	PR0009-P0005				
4	PR0011-P0001	2670	1720	0,642	0,149
	PR0011-P0010				
	PR0011-P0002				
	PR0011-P0003				
5	PR0012-P0001	2560	1620	0,635	0,162
	PR0012-P0003				
	PR0012-P0002				
	PR0012-P0004				
6	PR0013-P0001	2475	1500	0,606	0,209
	PR0014-P0012				
	PR0014-P0004				
	PR0013-P0004				
7	PR0015-P0001	2500	1560	0,624	0,181
	PR0015-P0005				
	PR0015-P0002				
	PR0016-P0002				
8	PR0017-P0001	2400	1520	0,632	0,168
	PR0019-P0001				
	PR0018-P0002				
	PR0020-P0004				
9	PR0021-P0001	2730	1630	0,598	0,221
	PR0022-P0001				
	PR0021-P0002				
	PR0023-P0002				

Таблица 2

Физико-механические свойства горных пород по геофизическим данным

№ п/п	Плотность пород по фоновым источникам место взятия пробы – поверхностные обнажения		Физико-механические свойства по геофизическим данным									
	Техтинская свита, т/м ³	Мамисонская свита, т/м ³	Пункт наблюдения, интервал	Плотность, г/см ³	Модуль упругости динамический E _{гр} , ГПа	Величина $\frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}$ для определения E _{ср} , ГПа	Модуль упругости статический E _{ср} , ГПа	Модуль деформации массива E _{деф} , ГПа	Модуль сдвига (μ), ГПа	Постоянная сжатия (C), МПа	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	
1.	Глинистые известняки 2.66-2.69	то же, 2.65-2.71	T1 32 ⁵⁰ -34 ⁹⁰	2,48	15,21	1,190	12,78	1,094	6,29	5,52	50,9	
2.	Известковые песчаники 2.64-2.71	Мергель груборассланцованный 2.66-2.68	T2 28 ⁸⁰ -31 ²⁰	2,42	12,36	1,235	10,00	0,977	4,88	4,85	39,6	
3.	Органогенно-обломочные известняки 2.66-2.70	Переслаивающиеся мергели и полосчатые известковые песчаники 2.67-2.71	T3 23 ⁸⁶ -26 ²⁶	2,56	18,24	1,266	14,41	1,169	7,26	5,93	58,5	
4.	Мергели 2.66-2.72		T4 20 ⁸³ -23 ²³	2,48	17,12	1,064	16,10	1,185	7,56	6,06	60,7	
5.	-	-	T5 17 ⁸² -20 ²²	2,45	15,37	1,075	14,30	1,116	6,61	5,66	54,0	
6.	-	-	T6 12 ⁸⁰ -15 ²⁰	2,42	13,43	1,136	11,82	1,038	5,60	5,20	45,4	
7.	-	-	T7 9 ¹² -11 ⁵²	2,43	14,23	1,099	12,95	1,123	6,09	5,43	49,3	
8.	-	-	T8 5 ⁸¹ -8 ²¹	2,40	13,23	1,075	12,31	1,092	5,71	5,25	46,0	
9.	-	-	T9 3 ²⁰ -5 ⁶⁰	2,50	19,18	1,149	16,70	1,182	5,76	5,28	55,6	

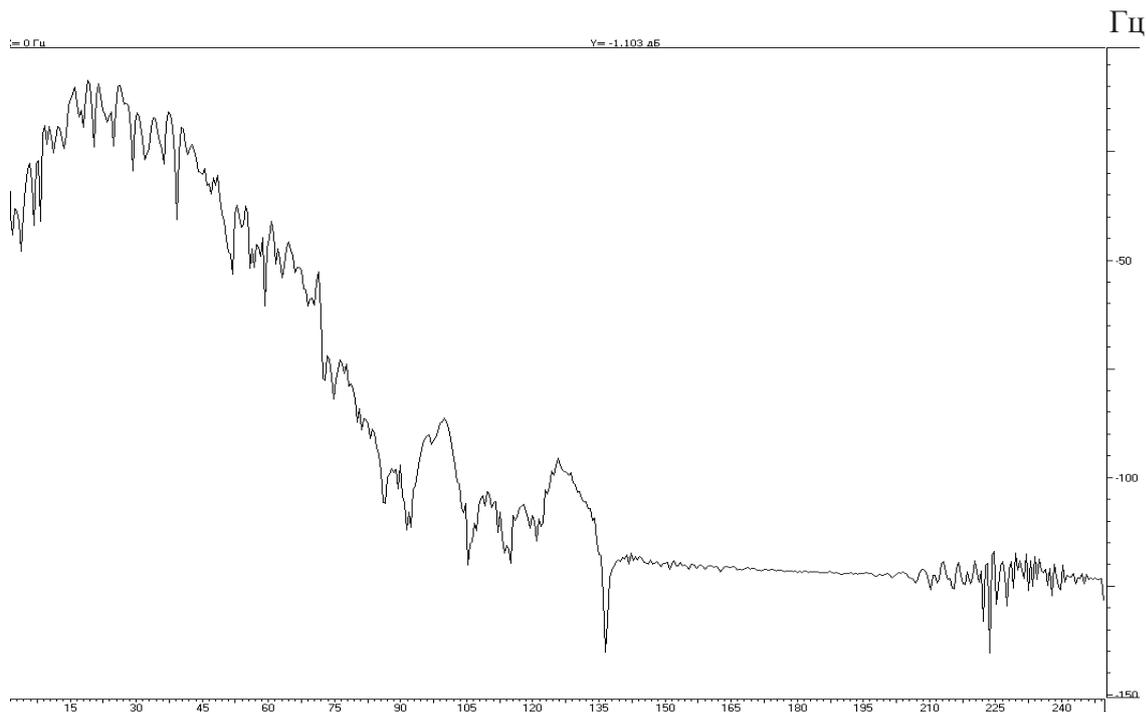


Рис. 1. Точка 3 (ПК 25+01). Спектр частот YY-колебаний на сейсмограмме PR0010-P0008

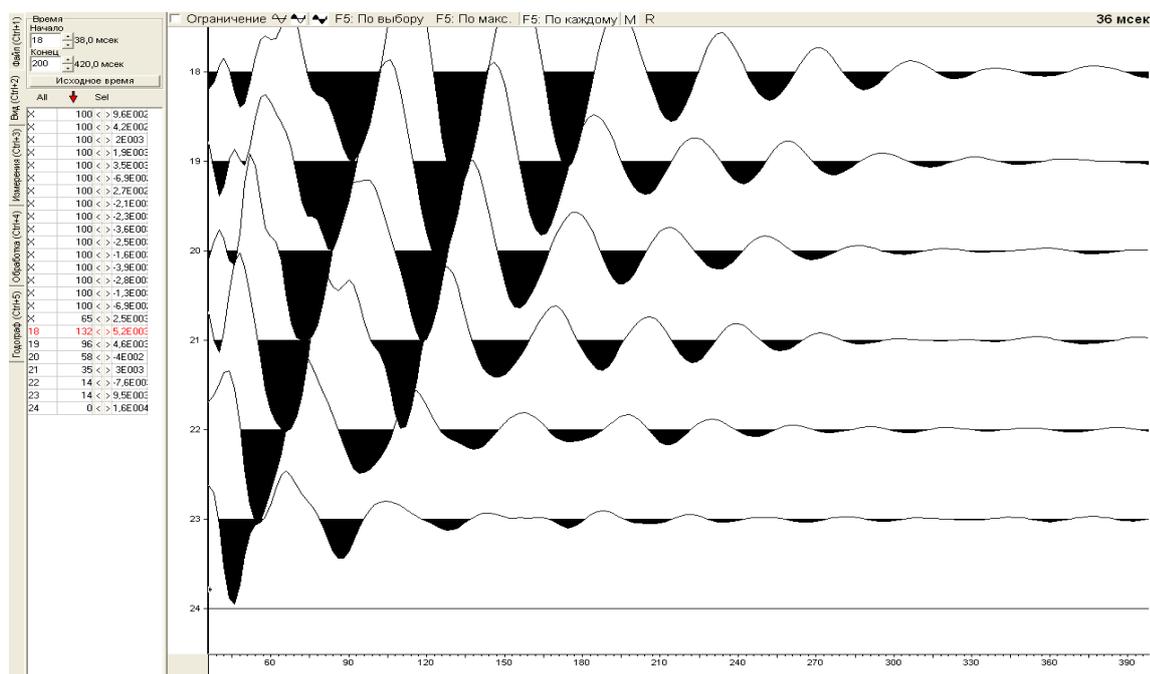


Рис. 2. Точка 3 (ПК 25+01). ZZ-запись PR0009–0007 на базе 120 м для определения коэффициента поглощения

Основные зоны активной трещиноватости проявлены на двух участках, ограниченных интервалами 560-1020 м и 1900-2390 м (далее отсчёт ведётся от северного портала). Ещё три зоны (интервалы 100-260 м, 1440-1600 м, 3230-3370 м) отмечаются хотя и меньшими мощностями, но отчетливо выраженным проявлением

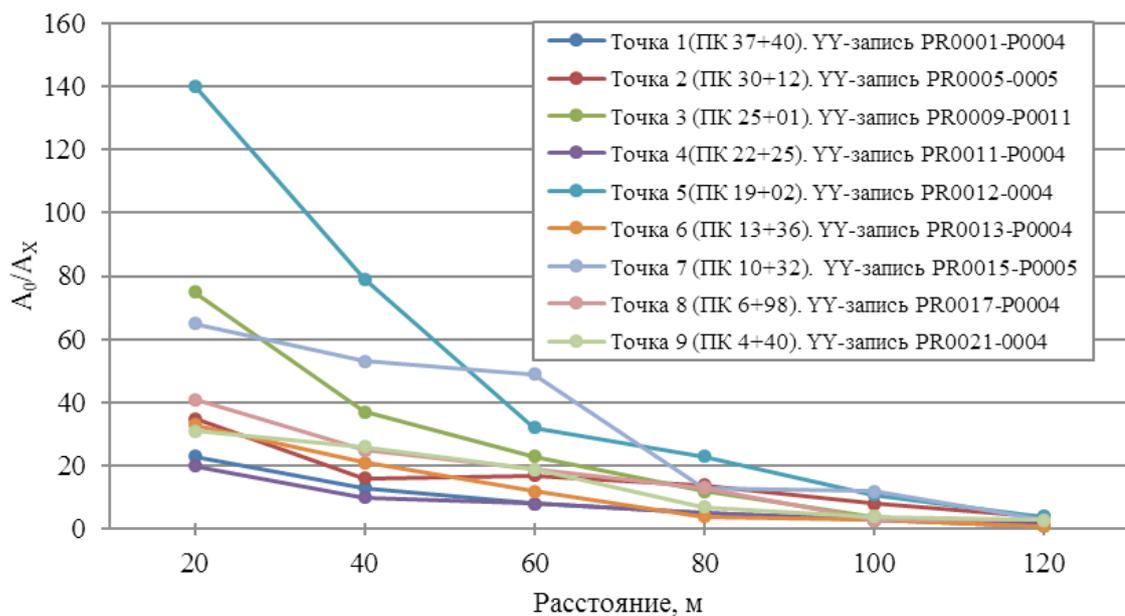


Рис. 3. Кривые зависимости амплитуды колебания от расстояния для различных интервалов выработки.

тектонической деятельности и второстепенной ролью трещиноватости. Первые две зоны характеризуются развитием серий нарушений и интенсивной трещиноватости. Мощность нарушений достигает 20 м. Основные нарушения следует ожидать в интервалах 3240-3280 м, 2930 м, 2600 м, 1600 м, 1500 м, и 180-260 м. Ослабленные породы могут проявиться в интервале 3560-3620 м, 1600-1940 м и в полосе 300-600 м. В пределах приведенных участков по основным нарушениям ожидается избыточный приток воды.

Более детальное дифференцирование разреза позволяет выделить участки возможных вывалов в интервалах 3560-3590 м, 3655-3670 м, 3690-3715 м.

Интервал 2740-2780 м, возможно, характеризует зону контакта пород двух свит, так как к северу от него наблюдается усиление тектонических проявлений в виде отдельных нарушений и трещиноватости. Структурами, формировавшими зону контакта, являются мощные тектонические нарушения на отметках 2600 м и 2500 м, севернее которых интервал 1940-2380 м характеризуется чередованием устойчивых и ослабленных участков, где повышенное внимание при горнопроходческих работах требуется на всём участке. К северу от отметки 1940 м до отметки 1450 м участок характеризуется чередованием зон трещиноватости и серий крупных нарушений (1480 м, 1600 м). Возможно, что отмеченные выше две основные и три второстепенные зоны, с такими крупными локальными нарушениями, как выделенные на отметках 250 м, 1600 м, 2600 м, являются субширотными структурами высших порядков регионального Халацинского разлома.

Геофизические исследования проводились параллельно с горнопроходческими работами по реконструкции деривационной выработки, и текущие результаты исследований оперативно использовались для корректировки горных работ на предупреждение вывалов, обрушений горных пород, поступления напорных трещинных вод.

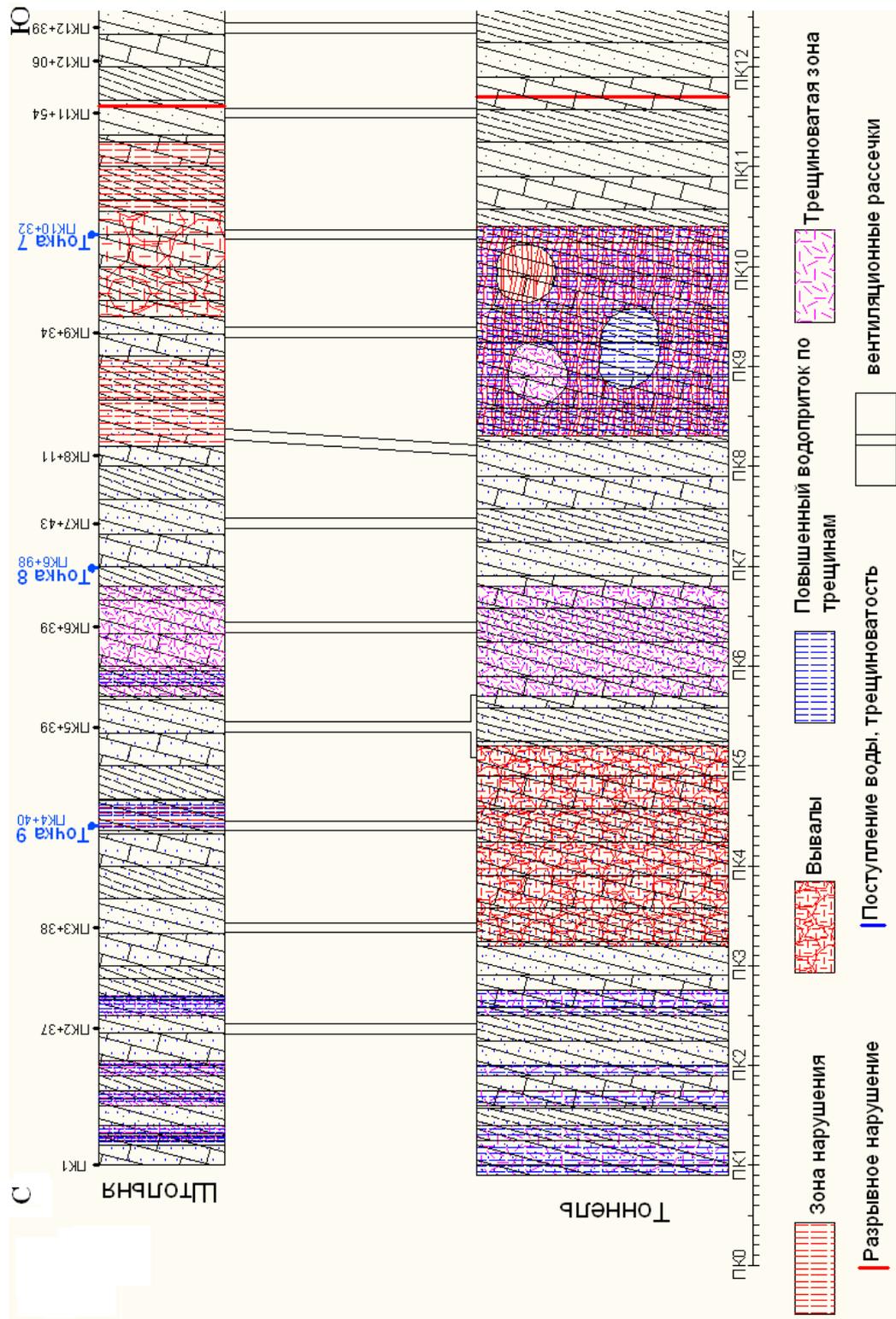


Рис.3. Фрагмент геоэлектрического разреза вдоль лотка транспортного тоннеля

Выводы

Проведенный комплекс геофизических исследований был направлен на решение структурно-тектонических и геотехнических задач, что позволило бы техническим службам предусмотреть особенности при реконструкции и возможные осложнения геотектонического характера в процессе дальнейшей эксплуатации комплекса;

В русле целевого назначения исследования были проведены методом геолокационного зондирования и различными модификациями сейсмических наблюдений для изучения упругих, поглощающих и инженерно-сейсмологических свойств пород.

На базе полученных результатов упругих свойств разреза рассчитаны инженерно-геологические свойства среды, включая плотность и упругие параметры. Физико-механические параметры разреза, характеризующие геотектонические условия, определены на основе математических соотношений упругих параметров среды и её механических свойств;

По данным геолокационного зондирования, разрез вдоль выработок дифференцируется, в основном, по структурно-тектоническим признакам;

Из-за крутого падения флишевой толщи и малых мощностей пластов, отсутствуют объекты отражений, и литологический фактор не работает;

Выделены две мощные зоны нарушений и три второстепенные, в пределах которых имеет место наложение разрывной тектоники и трещинообразования, по всей видимости, за счёт горного давления. Обозначен контакт техтинской и мамисонской свит на уровне выработок, сделано предположение, что их контакт имеет тектоническую природу. Выделенные зоны увязаны с элементами Техтинской антиклинальной структуры;

Дана качественная оценка зонам нарушений, их водоотдаче и устойчивости, выделены основные интервалы зон нарушений, трещиноватости, участки возможных вывалов пород и водопритока;

Отмечается, что признаком зон активной трещиноватости является низкое значение коэффициента Пуассона. Обладающие наименьшими значениями этого параметра породы, представленные в точках 4-7 (рис. 3), характеризуются в волновых разрезах электромагнитного поля как зоны интенсивной трещиноватости. Показатель трещиноватости можно использовать в качестве признака для качественной оценки тектонической ситуации;

На основе анализа спектрограмм записей микросейсмических колебаний многоканальной сейсмостанции, сделано предположение о связи высокочастотной части спектра с зонами интенсивной трещиноватости, связанными с горным давлением.

Литература

1. Берзон И.С. Высокочастотная сейсмика. – М.: изд-во АН СССР, 1957.
2. Богаченко С.Е., Кулик Б.Ю. Оценки прочностных свойств грунтов сейсмическими методами // Транспортное строительство. – 1972. – № 11.
3. Гурвич И.И. Сейсмическая разведка. – М.: Недра, 1970.
4. Епинатьева А.М. О преломленных волнах в средах со слабой скоростной дифференциацией. // Известия АН СССР, сер. геофиз. – М., 1955. – №

5. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М: ОИФЗ РАН, 2000, с. 367.
6. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // В сборнике: Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук. 2010. С. 251-262.
7. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Харебов А.К. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра. 2004. Т. 4. №3. С. 58
8. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. 2011. №1. С. 48-58.
9. Инструкция по применению сейсморазведки в инженерных изысканиях для строительства. РСН 45-77. – М., Госстрой РСФСР, 1977.
10. Кулаев И.Г., Кучиев А.А. Технический отчёт о результатах инженерно-геологических изысканий к инженерному проекту по объекту «Реконструкция автомобильной дороги Алагир (автомобильная дорога «Кавказ») – Нижний Зарамаг до границы с Республикой Грузия, тоннель км 93+300в РСО-Алания». ООО, Севосгелогоразведка, 2008.
11. Ляховицкий Ф.М., Парфиянович В.А. Использование ударной установки в производственных сейсмических работах // В сб.: «Разведочная геофизика». – Вып. 1. – М.: Недра, 1964.
12. Методические рекомендации по применению сейсмоакустических методов для изучения физико-механических свойств связных грунтов. – М.: ЦНИИС, 1976.
13. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами. – М.: ЦНИИС Минтрансстрой, 1985.
14. Милановский Е.Е., Хайн В.Е. Геологическое строение Кавказа. Очерки региональной геологии СССР. – М: изд-во МГУ, 1963. – Вып.8.
15. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. – М.: изд-во МГУ, 1981.
16. Ольховский Г.П., Агибалова В.В. Отчёт по инженерно-геологическим изысканиям в районе Рокского перевала. СОГКЭ, Северо-Кавказское ТГУ, 1973.
17. Ольховский Г.П., Тибилев С.М. Отчет по теме: «Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозной металлогенической карты Горной Осетии», ГПП, Владикавказ, 1998.
18. Павленкова Н.И., Смелянская Т.В. Методы определения скоростей по годографам преломленных волн // В кн.: «Геофизический сборник». – Вып. 29. – Киев: «Наукова думка» – 1969.
19. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Яценко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения скальных массивов пород. – М.: Недра, 1969.
20. Справочник геофизика, т. IV. «Сейсморазведка». – М.: Недра. 1966

INTEGRATION OF SEISMIC SURVEY AND GEOLOCATION SENSING METHODS FOR ALLOCATION OF GEOTECTONIC AND GEOTECHNICAL FEATURES OF THE ROKI TUNNEL CROSS SECTION

© 2014 Chotchaev Kh.O., Senior Scientist, Shepelev V.D.

Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre RAS and RNO-A, Markova str. 93a, Vladikavkaz, Russia, 362002, E-mail: cgi_ras@mail.ru,

The question of the reconstruction of the Roki Tunnel and associated problems are considered. The detailed investigation of the rocks along the mine workings to differentiate cross-section into separate blocks was performed. Geophysical surveys were conducted, and mining workings on the reconstruction of derivative working as well was also performed.

Keywords: aggregation, geophysical surveys, geo-location sensing.

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

БОРИСУ КАРАПЕТОВИЧУ КАРАПЕТЯНУ – 90!



29 апреля исполняется 90 лет со дня рождения академика НАН РА, доктора технических наук, профессора Бориса Карпетовича Карпетяна.

Б.К. Карпетян родился в г. Пятигорск, а в 1929 году семья переехала жить в Армению.

В 1948 году он с отличием окончил Ереванский политехнический институт по специальности инженер-строитель и в том же году поступил в аспирантуру Института стройматериалов и сооружений Армении, где проработал до 1961 года.

В 1954 году Б.К.Карпетян стал кандидатом технических наук.

Б.К. Карпетян – один из известных аспирантов Армена Георгиевича Назарова и вместе с ним в 1961 году переехал в Ленинакан и стал соратником своего учителя при основании во втором по значимости городе республики Института геофизики и инженерной сейсмологии АН Армении. Здесь он работал до 1971 года заведующим отделом сейсмологии.

В 1966 году он защищает диссертацию и получает звание доктора технических наук.

С 1971 по 1974 годы – профессор Ереванского политехнического института, с 1974 по 1980 год – зам. директора Института стройматериалов и сооружений Армении.

В 1981-94 годах он занимает должность заведующего кафедрой «Железобетонные, каменные конструкции и сейсмостойкость сооружений» Ереванского государственного университета архитектуры и строительства, а с 1995-2011 годы – профессор в кафедре «Строительные конструкции».

С 1990 года Б.К. Карпетян – академик НАН РА.

Он лауреат Государственной премии Армении, член корреспондент международной академии Франции «Арагат».

Б.К. Карпетян автор более 170 статей, 11 монографий, больше десятка книг.

Под руководством Б.К. Карпетяна защищены 1 докторская и 14 кандидатских диссертаций.

Б.К. Карпетян участвовал во многих международных конференциях – Япония, Болгария, Турция, США, Италия, Великобритания, Франция.

Он награжден Государственными дипломами, орденами и медалями

Б.К. Карпетян – ученый с большой буквы. Он отличается высокой культурой общения и своим доброжелательным отношением к людям.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Объем статей не должен превышать 12 страниц текста, оформленного в соответствии с Правилами.

На первой странице должны быть указаны: УДК (шрифтом Times New Roman, размером 12, выравнивание по левому краю); название статьи на русском языке (прописными буквами, без кавычек, переносы не допускаются, точка в конце не ставится, подчеркивание не используется, выравнивание по центру), кегль 14 полужирный, выравнивание по центру; инициалы и фамилии авторов (кегль 12 полужирный курсив, выравнивание по центру); название учреждения, место работы всех авторов, и контактная информация для переписки (почтовый адрес, адрес электронной почты); аннотация статьи на русском языке и ключевые слова

Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman размером 12 пт через одинарный интервал, выравнивание по ширине, без расстановки переносов. Подзаголовок – полужирный размером 12 пт, выравнивание по левому краю. При написании статьи используются общепринятые термины, единицы измерения и условные обозначения, единообразные по всей статье. Расшифровка всех используемых авторами обозначений дается при первом употреблении в тексте. Буквы латинского алфавита набираются курсивом, буквы греческого и русского алфавитов – прямым шрифтом.

Формулы создаются с помощью встроенного редактора формул (Microsoft Equation) с нумерацией в круглых скобках – (2), выравниваются по правому краю, расшифровка всех обозначений (букв) в формулах дается в порядке упоминания в формуле. Большие формулы необходимо разбивать на отдельные фрагменты. Фрагменты формул по возможности должны быть независимы (при использовании формульного редактора каждая строка – отдельный объект). Нумерацию, и по возможности, знаки препинания следует ставить отдельно от формул обычным текстом.

Таблицы, рисунки, фотографии размещаются внутри текста и имеют сквозную нумерацию по статье. Названия всех рисунков, фотографий и таблиц приводятся на русском языке, 11 кегль. Нумерация обозначений на рисунках дается по порядку номеров по часовой стрелке или сверху вниз. Рисунки с большим количеством деталей (сложные схемы, графики) размещаются на всю ширину страницы (16,5 см). Рисунки также должны быть предоставлены отдельными файлами в формате TIFF или JPEG с разрешением 300 dpi для контрастных черно-белых рисунков и 600 dpi – для полутонных. Цветные иллюстрации допускаются по согласованию с редакцией.

Обозначения, термины и иллюстративный материал должны соответствовать действующим ГОСТам.

Перечень литературных источников приводится общим списком в конце статьи. Список составляется по алфавиту, сначала следуют источники на русском, затем – на английском. Литература должна быть оформлена согласно ГОСТ 7.1–2003. Отсылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках в строку с текстом документа. Допускается использование кратких библиографических ссылок согласно ГОСТ Р 7.0.5–2008. Если ссылку приводят на документ, созданный одним, двумя или тремя авторами в отсылке указывают фамилии авторов, если на документ, созданный четырьмя и более авторами – указывают фамилию первого автора и сокращение «и др.» («et al.» для документов на языках, применяющих латинскую графику); если авторы не указаны – указывают название документа; далее указывают год издания и при необходимости сведения дополняют указанием страниц. Сведения в отсылке разделяют запятой. Если отсылка содержит сведения о нескольких ссылках, группы сведений разделяют знаком точка с запятой. В отсылке допускается сокращать длинные заглавия, обозначая опускаемые слова многоточием с пробелом до и после этого предписанного знака.

Приложения к статье

1. Аннотация (на отдельной странице – не более 100 слов). В ней не рекомендуется использовать формулы и ссылки на литературу. Если рукопись подается на русском языке, то аннотация должна быть продублирована на английском с указанием названия статьи, фамилий и инициалов авторов на этих языках. Если рукопись подается на английском языке, необходимо привести также аннотацию на русском. Аннотация печатается шрифтом Times New Roman (12 кегль) в одном файле в следующем порядке: название статьи, авторы, наименование организации, текст аннотации на русском языке, ключевые слова; далее, через 2 строки, в той же последовательности – на английском языке. Аннотация также публикуется на сайте журнала (на русском и английском языках).

2. Резюме (на отдельной странице) на русском и английском языках печатается шрифтом Times New Roman (10 кегль) и должно содержать следующую информацию:

- фамилия, имя, отчество всех авторов полностью (на русском и английском языке);
- полное название организации – место работы каждого автора в именительном падеже, страна, город (на русском и английском языке). Если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно;
- адрес электронной почты для каждого автора;
- корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов);
- опционально: подразделение организации, должность, научное звание, ученая степень, награды и научные премии, профессиональный опыт, основной круг научных интересов, количество публикаций каждого из авторов.

3. Текст реферата (одна страница) для опубликования в реферативных журналах (РЖ) ВИНТИ. Параметры страницы: формат А4 (210×297 мм); межстрочный интервал полуторный; шрифт Times New Roman (12 кегль) в одном файле в следующем порядке: наименование статьи, авторы, наименование организации, реферат на русском языке; далее, через 2 строки, в той же последовательности – на английском языке.

4. Справка из отдела аспирантуры (для аспирантов). Плата с аспирантов (единственный автор) за публикацию рукописей не взимается.

Тексты статей могут быть высланы в *tar* или *zip* архиве (каждая статья отдельно) по электронной почте на адрес редакции southgeo@mail.ru.

В архиве должны присутствовать следующие файлы:

- текст статьи, включая формулы, таблицы, рисунки, подрисуночные подписи, список литературы,
- иллюстрации в формате TIF или JPG, которые должны быть именованы таким образом, чтобы было понятно, к какой статье они принадлежат и каким по номеру рисунком статьи они являются. Каждый файл должен содержать один рисунок.
- аннотация на русском и английском языках;
- реферат на русском и английском языках;
- резюме на русском и английском языках;

Редакция не возвращает авторам присланные материалы равно как на бумажных, так и на электронных носителях.

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА
ЮГА РОССИИ
(№1. 2014г.)**

Подписано в печать 14.02.2014 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 7,2. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз.

**Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-44273 от 17 марта 2011 г.**

Издатель:

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра Российской академии
наук и Правительства Республики Северная Осетия-Алания**

Адрес редакции:

362002, РСО-А, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а

тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056

e-mail: southgeo@mail.ru

<http://cgiras.ru/southgeo>

Отпечатано ИП Цопановой А.Ю.

362000, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3.