

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 2 / 2014



СОДЕРЖАНИЕ

Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В., Келешев М.Ф. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА.....	3
Заалишвили В.Б., Даниели М.А. ФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ МЕЖЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ЗДАНИЙ В ВИДЕ ОБОЛОЧЕК	13
Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Невский Л.Н., Архиреева И.Г. ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ	22
Керимов И.А., Даукаев А.А., Бачаева Т.Х. РЕСУРСНАЯ БАЗА УВ СЫРЬЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ.....	30
Парада С.Г., Столяров В.В., Маркин М.Ю., Шишкалов И.Ю. ПРОЯВЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЛАТИНОНОСНЫХ ГИПЕРБАЗИТОВ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЯХ Ni, Cr И Co НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПЕРЕДОВОГО ХРЕБТА (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)	42
Чотчаев Х.О. АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	55
Rekvaia P., Mdivani K. NORMALIZED ACCELERATION RESPONSE SPECTRA FOR TBILISI CITY WITH SEISMOLOGICAL PARAMETERS AND SITE EFFECTS.....	68

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

МИХАИЛУ ЧОККАЕВИЧУ ЗАЛИХАНОВУ – 75!	80
---	----

CONTENTS

Djinchvelashvili G.A., Mkrtychev O.V., Keleshev M.F. THE QUANTITATIVE ASSESSMENTS OF THE SEISMIC RISK	3
Zaalishvili V.B., Daniely M.A. PHYSICAL ANALYSIS OF THE SPECIAL FEATURES OF FLUCTUATIONS WITH THE INTENSIVE DYNAMIC LOADS OF THE INTERFLOORS OF THE BUILDINGS IN THE FORM OF THE SHELLS.....	13
Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V., Nevsky L.N., Arkhireeva I.G. SEISMIC RISK ASSESSMENT OF URBANIZED TERRITORY	22
Kerimov I.A., Daukaev A.A., Bachaeva T.H. RESOURCE BASE OF RAW UV MATERIAL AND PROSPECT FOR THE OIL AND GAS-BEARING CAPACITY OF EASTERN CISCAUCASIA.....	30
Parada S.G., Stoliarov V.V., Markin M.U., Shishkalov I.U. MANIFESTATION OF POTENTIALLY PLATINUM CONTAINING ULTRABASITES IN THE GEOCHEMICAL ANOMALIES OF Ni, Cr AND Co BASED ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN PART OF FRONT RANGE (KABARDINO-BALKARSKAYA REPUBLIC).....	42
Chotchaev H.O. ANALYSIS OF THE CONCEPTS OF SEISMIC ACTIONS ON THE CIVIL CONSTRUCTIONS	55
Rekvava P., Mdivani K. NORMALIZED ACCELERATION RESPONSE SPECTRA FOR TBILISI CITY WITH SEISMOLOGICAL PARAMETERS AND SITE EFFECTS.....	68

JUBILEES

THE 75th BIRTHDAY OF MIKHAIL CHOKKAEVICH ZALIKHANOV!.....	80
---	----

УДК 624.046.2

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

© 2014 Г.А. Джинчвелашвили, к.т.н., О.В. Мкртычев, д.т.н.,
М.Ф. Келешев, к.т.н.,

Московский Государственный Строительный Университет им. Н.Э. Баумана,
105005 г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: bauman@bmstu.ru

В статье рассмотрены понятия сейсмического риска и дана методика расчета вероятности отказа сооружения при землетрясении. Многовековой опыт борьбы с последствиями землетрясений, накопленный человечеством, свидетельствует о том, что наиболее действенный способ их минимизации состоит в проведении заблаговременных и масштабных антисейсмических мероприятий еще при строительстве на сейсмоопасных территориях. Антисейсмические мероприятия априори нуждаются в дополнительных затратах в сравнении со строительством в несейсмических районах. С точки зрения эффективности таких затрат они должны оправдываться снижением вероятных потерь (рисков ущерба) от землетрясений.

Ключевые слова: сейсмический риск, сейсмическая интенсивность, функция уязвимости.

1. Сейсмическая опасность

Несмотря на интенсивное развитие теории и практики оценки сейсмической опасности и сейсмостойкого строительства, во всем мире наблюдается непрерывный рост ущерба от землетрясений, связанный с процессами урбанизации, усложнением инфраструктуры, увеличением плотности населения, накоплением материальных ценностей и другими факторами. Соответственно резко увеличился поток публикаций, посвященных проблемам уменьшения риска и, в частности, проблемам сейсмического районирования. При этом предложения различных исследователей часто существенным образом различаются и даже противоречат друг другу. Нет нужды объяснять необходимость учета мировых достижений при разработке методологии оценки сейсмической опасности в нашей стране.

Сильные землетрясения угрожают также густонаселенным территориям России и странам бывшего СССР: (Южного Кавказа, Центральной Азии, Казахстану, Украине, Молдавии) [Уломов, Шумилина, 1999, <http://seismos-u.ifz.ru>; <http://www.pandia.ru>].

В то же время, как свидетельствует опыт развитых стран, никакой фатальной неизбежности ущербов и потерь от землетрясений нет. Как сказано в книге видных американских специалистов по сейсмостойкому проектированию и строительству Дж. Гира и Х. Шаха «не землетрясения убивают людей, а здания» [Гир, Шах, 1988]. И поскольку угрозы от землетрясений реализуются в соответствии со стохастическими законами, то это означает, что ущербами и потерями от землетрясений можно управлять – путем минимизации сейсмического риска. Однако такая возможность может быть реализована только в случае адекватной оценки сейсмического риска в контексте принятия решений.

Многовековой опыт борьбы с последствиями землетрясений, накопленный человечеством, свидетельствует о том, что наиболее действенный способ их миними-

зации состоит в проведении заблаговременных и масштабных антисейсмических мероприятий еще при строительстве на сейсмоопасных территориях. Антисейсмические мероприятия априори нуждаются в дополнительных затратах в сравнении со строительством в несейсмических районах. С точки зрения эффективности таких затрат они должны оправдываться снижением вероятных потерь (рисков ущерба) от землетрясений. При этом снижение вероятных потерь от землетрясений можно рассматривать как будущий эффект, а дополнительные затраты на антисейсмические мероприятия трактовать как составляющие сейсмического риска.

Решение проблемы, по нашему мнению, здесь видится, прежде всего, в необходимости уточнения понятия сейсмического риска и его оценки в контексте принятия решений.

В количественном отношении получило распространение следующее определение: под сейсмической опасностью понимается вероятность появления сейсмических воздействий определенной силы на заданной площади (или в заданном пункте) в течение заданного интервала времени.

До выхода в свет работы К. Корнелла (Cornell, 1968) [Сейсмический ..., 1981] в некоторых публикациях сейсмическую опасность называли «сейсмическим риском». В настоящее время под этим термином понимается вероятный ущерб при землетрясениях.

Существуют различные проблемы задания вероятности событий. Например, в случае описания сейсмической опасности в баллах шкалы сейсмической интенсивности возникает вопрос: соответствуют ли заданные вероятности не превышения точности шкалы?

В действующей дискретной шкале сейсмической интенсивности (MSK-64) используется модель равномерного распределения сейсмических эффектов в пределах заданного балла со скачкообразным изменением этих эффектов на границе соседних баллов. Даже если бы мы имели абсолютно точное соответствие баллов и амплитуд ускорений, то только за счет дискретности модели среднеквадратичная погрешность, связанная с округлением интенсивности до целочисленных значений, равна 25%, а максимальная погрешность достигает 60%.

В настоящее время эмпирическим путем установлено, что связь между сейсмической интенсивностью и ускорением грунта неоднозначна. Существуют и другие факторы, например, продолжительность колебаний, которые вносят существенный вклад в сейсмическую интенсивность [Аптикаев, 2000, 2001; Заалишвили, 2000а; 2009].

Из уравнения макросейсмического поля следует, что округление магнитуд до 0,5 вызывает погрешность в интенсивности 0,75 балла или, в пересчете в амплитуды ускорения, – (опять-таки при предположении об абсолютной корреляции магнитуд и интенсивности) – 100%-ю погрешность оценок ускорения.

Следовательно, при оценке сейсмической опасности в целочисленных значениях баллов, неправомерно задавать вероятность не превышения более 75%.

На практике встречаются оценки сейсмических воздействий с вероятностью P , отличающейся от 0,5. Следует иметь в виду, что риск превышения заданного воздействия на картах ОСР задается выбором карты ОСР-А, ОСР-В, ОСР-С, ОСР-Д. Можно изменить количество карт или задаваться иными вероятностями риска – в принципе, ничего не изменяется. Задав выбором карты степень допустимого превышения, все последующие выкладки должны производиться по средним зависимостям.

Например, подняв полученную оценку ускорения на величину стандартного отклонения, мы фактически переходим от одной карты к другой (с карты «А» к карте «В» и т. д.).

В научных исследованиях часто используется и другое определение сейсмической опасности [Ризниченко, 1985]: сейсмическая опасность есть математическое ожидание потока сейсмических событий определенной силы на заданной площади в течение заданного интервала времени.

При малых вероятностях ($P < 0,2$) оба определения эквивалентны. Однако последнему определению при $P > 0,2$ соответствуют более точные оценки ожидаемого ущерба от землетрясений.

Проблема погрешностей, связанных с моделью равномерного распределения признаков сейсмической интенсивности, сохраняется и при пересчете значений баллов в ускорения грунта. В этом отношении перспективно применение вероятностных моделей связи амплитуд колебаний грунта с сейсмической интенсивностью в баллах.

2. Уязвимость зданий и сооружений и сейсмический риск

С экономической точки зрения при заданном воздействии в баллах или амплитудах ускорения грунта широко используется понятие уязвимости объекта (V), как меры потери функциональности объекта.

Наиболее просто эта величина определяется для зданий и сооружений. Уязвимость определяется как отношение стоимости ремонта (восстановления) к общей стоимости объекта; изменяется от 0 (отсутствие повреждений) до 1,0 (не подлежит восстановлению) и не зависит ни от выбора валютной единицы, ни от уровня инфляции. Зная текущую стоимость объекта, легко определить ущерб в денежном выражении. Зависимость уязвимости от сейсмического воздействия (например, в баллах) называется *функцией уязвимости*. Уязвимость сложным образом связана со степенью повреждения. Например, в случаях 4-й и 5-й степени повреждений уязвимость одинакова и равна единице, поскольку такие здания восстановлению не подлежат.

Сейсмический риск – понятие экономическое. Это – вероятность социального и экономического ущерба, связанного с землетрясениями на заданной территории в течение определенного интервала времени [Сейсмический ..., 1981; Заалишвили, 2000б; Chachava et al., 2001].

Сейсмический риск (R), сейсмическая опасность (H) и уязвимость (V) связаны соотношением:

$$R = HV. \quad (1)$$

При ОСР надежно выделяются сейсмогенерирующие структуры, способные породить землетрясения с магнитудой свыше 6,0. Однако и более слабые по магнитуде землетрясения способны вызывать сильные воздействия на ограниченной площади. ДСР как раз и призвано выделять такие структуры [Заалишвили, Рогожин, 2010; Заалишвили и др., 2011].

Обычно считают, что сейсмическая интенсивность определяется магнитудой землетрясения. Однако согласно уравнению макросейсмического поля со средними оценками коэффициентов имеет вид зависимость [Ризниченко, 1985]:

$$I = 1,5M_s - 3,51 \lg \frac{(h^2 + D^2)}{2} + 3,0, \quad (2)$$

где I – сейсмическая интенсивность в баллах; M_s – магнитуда по поверхностным волнам; h – глубина очага, D – эпицентральное расстояние.

Из этого уравнения следует, что фактор расстояния намного важнее магнитуды. Глубина же землетрясений с малыми магнитудами может быть весьма малой. Кроме того, имеется много доказательств того, что на поверхности разрыва амплитуда ускорения в среднем постоянна и не зависит от магнитуды землетрясения [Аптикаев, 2001]. Чтобы не быть голословными, приведем перечень землетрясений мира со значительным сейсмическим эффектом при малых магнитудах [Аптикаев, 2000] (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1.

Примеры землетрясений с магнитудами $M_s \leq 4,5$ и относительно высокой интенсивностью I .

Дата	Место	M_s	I	Дата	Место	M_s	I
10.05.1964	Сахалин	0,5	6,0	29.06.1966	Ташкент	3,6	7,0
26.08.1989	Югославия	1,7	6,0	25.01.1972	Италия	3,7	7,5
22.02.1963	Кавказ	2,0	6,0	14.06.1992	Тайвань	3,7	8,5
09.07.1967	Урал	2,3	6,0	06.02.1972	Италия	3,8	8,0
13.09.1930	Узбекистан	2,5	7,0	14.06.1972	Италия	3,8	9,0
01.09.1962	Д. Восток	2,7	7,0	05.02.1972	Италия	4,0	8,5
20.04.1992	Тайвань	2,7	7,5	19.04.1992	Тайвань	4,2	9,0
22.11.1986	Япония	3,0	8,0	30.03.1989	Армения	4,3	7,5
30.06.1868	Сев. Кавказ	3,2	7,0	02.01.1842	Азербайджан	4,3	8,0
12.01.1947	Центр. Азия	3,2	7,0	20.04.1992	Тайвань	4,4	9,0
18.08.1812	Прибайкалье	3,3	7,0	05.05.1992	Тайвань	4,4	9,0
23.11.1947	Ставрополь	3,5	7,0	02.10.1971	Ставрополь	4,5	8,0
23.04.1992	Тайвань	3,5	8,5	04.09.1987	Италия	4,5	8,0

Таблица 2.

Примеры землетрясений с магнитудами $M_s \leq 4,5$ и относительно высокими ускорениями грунта (PGA, в $\text{см}/\text{с}^2$).

Дата	Место	M_s	Станция	ПГУ, $\text{см}/\text{с}^2$
27.08.1978	Ю. Каролина	1,9	Монтицелло Дэм	250
06.03.1975	Калифорния	2,2	Миленди Ранч Ист	180
28.08.1972	Калифорния	2,5	6420 Вилшир	160
16.10.1979	Калифорния	2,8	Аэропорт Ббэвли	168
31.01.1974	Калифорния	2,9	7007-я Вест	180
22.03.1972	Калифорния	2,9	Миленди Ранч	160
06.04.1977	Калифорния	3,0	Джонсон Ранч	580
24.09.1979	Италия	3,1	Норция Мулино	661
11.02.1974	Калифорния	3,3	533 Ю. Фремонт	250
14.11.1977	Калифорния	3,4	Эль Центро №6	500
14.11.1977	Калифорния	3,7	Эль Центро №6	410
13.10.1980	Калифорния	3,7	Вилкинсон Ранч	310
05.01.1972	Никарагуа	3,8	ЭССО Рефинери	220
14.06.1972	Италия	4,0	PAL	244
14.06.1972	Италия	4,0	GEN	422
14.06.1972	Италия	4,0	ROC	510
04.09.1972	Калифорния	4,5	Миленди Ранч	690

Этот далеко не полный список убедительно показывает, что даже микроземлетрясения ($M_s \leq 3,0$) могут вызвать на отдельном объекте серьезные повреждения. При таких воздействиях нелинейные явления по инструментальным показателям записей, практически, отсутствуют [Заалишвили, 2000a]. А уж о землетрясениях с магнитудами $M_s \geq 6,0$ и говорить не приходится. Поскольку сейсмический риск оценивается при весьма высоком уровне не превышения, например, для АЭС всего 0.5%, была проведена оценка максимально возможной интенсивности в функции магнитуды, как огибающей ансамбля эмпирических данных по 1700 землетрясениям в диапазоне магнитудами $0,0 \leq M_s \leq 8,5$:

$$I_{max} = 0,8M_s + 5,6. \quad (3)$$

На основе анализа 1780 акселерограмм для интервала магнитуд $2,0 \leq M_s \leq 7,5$ получено эмпирическое соотношение для максимально возможных ускорений грунта (PGA – peak ground acceleration) – максимальное ускорение колебаний грунта в пункте наблюдения в горизонтальной плоскости (огибающая ансамбля эмпирических данных) [Trifunac, Brady, 1975]:

$$\lg PGA = 0,12M_s + 2,4. \quad (4)$$

Заметим, что коэффициенты в этих соотношениях не совпадают с коэффициентами для средних, наиболее вероятных, значений, поскольку величина стандартного отклонения увеличивается при понижении магнитуды.

В России и в странах бывшего СССР используется 12-балльная сейсмическая шкала MSK-64 [Поляков, 1978]. В качестве основной расчетной характеристики, характеризующей уровень сейсмической опасности, используется максимальное сейсмическое ускорение a_{max} колебаний частиц грунта на поверхности земли.

Между сейсмической интенсивностью I в баллах шкалы MSK-64 и максимальным ускорением a_{max} в [Стефанишин, 2012] приведен график, устанавливающий сложную вероятностную зависимость (рис. 1), который получен путем статистической обработки более 1400 акселерограмм землетрясений, зарегистрированных в разных частях земного шара.

Из анализа рис. 1 видно, что одним и тем же ускорениям a_{max} могут отвечать разные интегральные вероятности $P(a_{max})$ при разной интенсивности I сейсмических колебаний, в баллах, и, соответственно, при разной их частоте. То есть одни и те же максимальные сейсмические ускорения a_{max} с разной вероятностью могут прогнозироваться в значительном диапазоне изменения интенсивности сейсмических колебаний, в баллах.

Определим понятие сейсмического риска в такой постановке задачи.

Сейсмическим риском назовем произведение трех величин [Кусаинов и др., 2013]:

$$R = H \times P(a_{max} \geq a_{max,p} | I_p) \times Q, \quad (5)$$

где H – вероятности наступления землетрясения определенной интенсивности I_p ; $P(a_{max} \geq a_{max,p} | I_p)$ – условная вероятность того, что землетрясение вызовет критическое состояние; Q – размер ущерба вследствие наступления критического состояния.

Вероятность наступления землетрясения определенной интенсивности H определяется из анализа степени сейсмической опасности района строительства. Вероятность возникновения ущерба определяется несущей способностью несущих

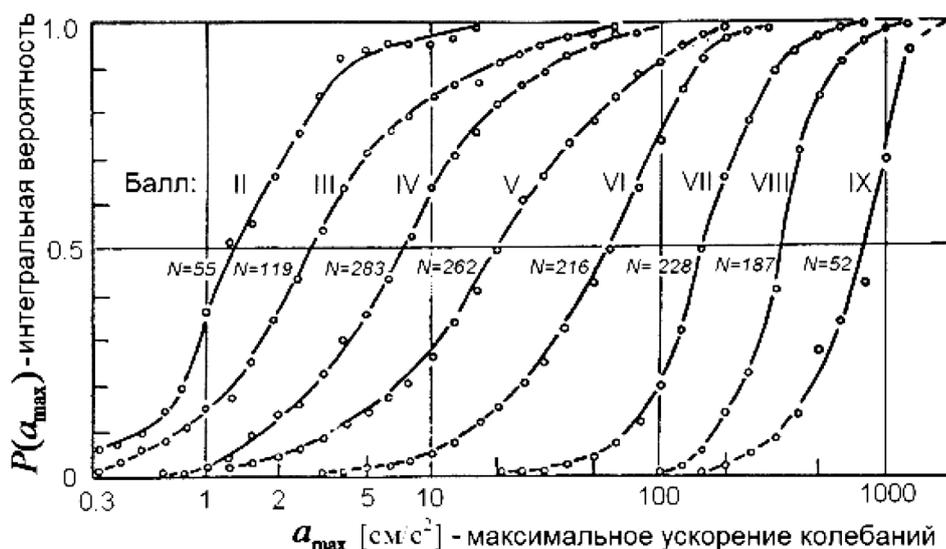


Рис. 1. Характер вероятностной связи между интенсивностью I , в баллах шкалы MSK-64, и a_{max} ; N – количество акселерограмм землетрясений, использованных для построения графиков, характеризующих разную интенсивность.

конструкций сооружения и их способностью рассеивать энергию землетрясения.

Размер ущерба Q определяется параметрами эксплуатации, плотностью застройки, транспортной и коммунальной инфраструктурой и пр.

Положим, что при некотором расчетном землетрясении интенсивностью I_p , в баллах, сооружение способно безотказно (не разрушаясь и не повреждаясь) выдержать некоторое расчетное максимальное сейсмическое ускорение $a_{max,p}$. Тогда вероятность $P(a_{max,p})$, определенная при I_p как условная вероятность $P(a_{max,p} | I_p)$ не превышения соответствующего ускорения, может характеризовать минимально допустимое значение условной вероятности безотказной работы (надежности) этого объекта при интенсивности I_p .

В свою очередь дополнение вероятности $P(a_{max,p} | I_p)$ до единицы, как вероятность превышения $a_{max,p}$, будет характеризовать максимально допустимое значение условной вероятности отказа сооружения при I_p :

$$P(a_{max} \geq a_{max,p} | I_p) = 1 - P(a_{max,p} | I_p). \quad (6)$$

Другой важной характеристикой сейсмической опасности, определяющей безусловную вероятность отказа от расчетного землетрясения интенсивностью I_p , является средний период его повторения $T(I_p)$. В зависимости от периода повторяемости $T(I_p)$ устанавливается ежегодная вероятность $p(I_p)$ превышения землетрясения интенсивностью I_p :

$$p(I_p) = 1/T(I_p). \quad (7)$$

Сейсмическим риском назовем произведение вероятности наступления землетрясения определенной интенсивности I_p на условную вероятность того, что землетрясение вызовет критическое состояние и на размер ущерба вследствие наступления критического состояния.

Воспользовавшись формулой произведения вероятностей (полной вероятности), получим максимально допустимое значение безусловной вероятности (риска) отказа сооружения при расчетном землетрясении интенсивностью I_p :

$$Q(I_p) = P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_p) \times p(I_p) = \frac{1}{T(I_p)} [1 - P(a_{\max,p} | I_p)]. \quad (8)$$

Следует также учесть, что одни и те же ускорения a_{\max} , хотя и с разной вероятностью $P(a_{\max})$ (см. рис. 1), включая ускорения $a_{\max,p}$, могут превышать и при землетрясениях, интенсивность которых меньше расчетной I_p .

Рассмотрим некоторую группу I потенциально возможных k землетрясений $I = \{I_p\}, k=m, \dots, p$, в которой землетрясение с интенсивностью сотрясений I_m представляет собой некоторое минимальное по интенсивности, в баллах, землетрясение из возможных на площадке сейсмических событий с максимальными ускорениями $a_{\max} \geq a_{\max,p}$, а землетрясение интенсивностью I_p является максимальным расчетным землетрясением на площадке, в баллах, на которое рассчитывается сооружение при a_{\max} .

В этом случае для оценки максимально допустимого значения полной вероятности отказа сооружения Q с учетом возможности любого из k -х землетрясений $I = \{I_p\}, k=m, \dots, p$, воспользуемся формулой полной вероятности в виде:

$$R(I) = \sum_{k=m}^p P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_k) \cdot P(I_k), \quad (9)$$

где, с учетом формирования полной группы событий, вероятности:

$$P(I_k) = p(I_k) - p(I_{k+1}) = \frac{1}{T(I_k)} - \frac{1}{T(I_{k+1})}. \quad (10)$$

Рассмотрим пример.

Пусть сооружение рассчитано на максимальное сейсмическое ускорение $0,1g$. Площадка, на которой размещается сооружение, относится к зоне, где возможны сотрясения интенсивностью 7 баллов по шкале MSK-64 для средних грунтов.

Пусть, максимальное расчетное землетрясение с интенсивностью сейсмических колебаний 7 баллов ожидается 1 раз в 500 лет; с интенсивностью сейсмических колебаний 6 баллов – 1 раз в 100 лет; с интенсивностью сейсмических колебаний 5 баллов – 1 раз в 20 лет.

Согласно данным, представленным на рис.1, имеем вероятности превышения максимального сейсмического ускорения $a_{\max,p} = 0,1g$ при землетрясениях интенсивностью $I_k = 7, 6$ и 5 баллов:

$$\begin{aligned} P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_7) &= 0,8; \\ P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_6) &= 0,25; \\ P(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_5) &= 0,10. \end{aligned}$$

Используя формулу (9), получаем максимально допустимое значение полной вероятности отказа сооружения $R(Q, I)$ при землетрясении с учетом возможности любого из землетрясений интенсивностью $k = 7, 6, 5$ баллов

$$\begin{aligned} R(Q, I) &= \sum_{k=m}^p p(a_{\max} \geq a_{\max,p} | I_p) \times P(I_k) = 0,8 \times \frac{1}{500} + 0,25 \times \frac{1}{100} + 0,1 \times \frac{1}{20} \\ &= 0,0016 + 0,0025 + 0,005 = 0,0091 \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Если в обществе существует единое мнение о возможном сейсмическом риске, то с учетом расчетных критериев, определяемых параметром $R(Q, I)$, и пограничных условий, полученных в $Q(I_p)$, можно определить вероятность наступления землетрясения, или ее обратное значение, T – период повторяемости которые следует

положить в основу расчета. Для этого в Еврокоде 8 [Eurocode 8, 2003] и во многих других странах принято рассчитывать сейсмостойкие сооружения на землетрясение, которое может произойти с 10% вероятностью в течение 50 лет.

На основании распределения Пуассона по времени (приближение касается малых вероятностей наступления события):

$$P(T, I \geq I_k) = 1 - e^{-p(I_k)R} \approx 1 - (1 - p(I_k))^T. \quad (11)$$

Отсюда следует, период повторяемости $T=475$ лет. В течение этого времени расчетное землетрясение произойдет с 63% вероятностью.

Таким образом, за срок службы сооружения на данной строительной площадке:

– с большой долей вероятности произойдет «умеренное» землетрясение, такое землетрясение принято называть ПЗ (проектное землетрясение с повторяемостью раз в 100 лет). При таких землетрясениях в несущих конструкциях не должны формироваться остаточные деформации, а ее элементы не должны иметь остаточных перекосов. Несущие элементы здания полностью сохраняют свою прочность и жесткость, и не нуждаются в капитальном ремонте.

– с определенной вероятностью произойдет «сильное» или «катастрофическое» землетрясение. Такое землетрясение принято называть МРЗ (максимальное расчетное землетрясение с повторяемостью раз в 500 лет). При таком редком сейсмическом воздействии, несущие конструкции могут быть значительно повреждены и в них возможно развитие остаточных пластических деформаций при сохранении вертикальной несущей способности и значительной остаточной прочности и жесткости.

Эти положения должны войти в новую концепцию нормативных документов по сейсмостойкому строительству [Мкртычев, Джинчвелашвили, 2012].

Выводы

1. Эмпирические данные о сильных движениях показали, что уровень воздействий в близочаговой и ближней зонах существенно зависит от типа подвижки в очагах.

2. Сейсмическая интенсивность зависит не только от уровня колебаний, но и от их продолжительности, которая, практически не зависит от сейсмической интенсивности, а определяется магнитудой землетрясения, расстоянием, типом подвижки в очаге и типом грунта; вот почему расчет амплитуд и других параметров колебаний грунта должны производить не проектировщики с использованием инструментальной сейсмической шкалы, а сейсмологи, которые обладают информацией не только об ожидаемой интенсивности, но и о магнитудах, расстояниях, типах подвижек в очагах.

3. Сейсмологам необходимо обсудить и, возможно, внести коренное изменение концепции сейсмического районирования – отказ от картирования сейсмической опасности только в баллах и выбор в качестве параметра картирования характеристик, непосредственно используемых проектировщиками в расчетах, в первую очередь – амплитуды ускорений. При этом автоматически исчезает погрешность округления, ибо поле амплитуд непрерывно. Безусловно, макросейсмические и инструментальные данные должны использоваться в комплексе.

Литература

1. Аптикаев Ф.Ф. Меры по снижению ущерба от землетрясений / Природные опасности России. – М: Крук, 2000. – Глава 7. – с. 165-195.
2. Аптикаев Ф.Ф. Особенности колебаний поверхности грунта вблизи техногенных сейсмических источников – Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2001. – № 1. – с. 7-12.
3. Гир Дж., Шах Х. Зыбкая твердь: Что такое землетрясение и как к нему подготовиться. – М.: Мир. 1988. – 220 с.
4. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. – М.: ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. 2000а. – 367с.
5. Заалишвили В.Б. Сейсмический риск в оценке направлений реконструкции исторического центра города. // Теория сооружений и сейсмостойкость. ИСМИС им. К.С. Завриева АН Грузии № 1. – Тбилиси, 2000б, С.189-194
6. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок (учебное пособие) – М.: – Наука, 2009. 350 с.
7. 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. – Махачкала: Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук. 2010. – С. 251-262.
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. Кусаинов А.А., Ильичев В.А., Ботабеков А.К., Хенкель Ф.-О., Шальк М., Холь Д. Проектирование сейсмостойких конструкций с комплектными системами сухого строительства. – Учебное пособие: – М.: АСВ, 2013. – 272 с.
10. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). – М.: МГСУ, 2012. – 192 с.
11. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. – М.: Стройиздат, 1978. – 311 с.
12. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 408с.
13. Сейсмический риск и инженерные решения. Пер. с англ. – Под ред. Ц. Ломнитца, Э. Розенблюэта. – М.: Недра, 1981. – 375 с.
14. Стефанишин Д.В. К вопросу оценки и учета сейсмического риска при принятии решений – Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений», 2012. – 8 с., http://www.pamag.ru/pressa/calculation_seismic-risk
15. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России. – М.: ВНИИТПИ Госстроя России, 1999. – 56 с.
16. Chachava N., Zaalishvili V., Gogmachadze S. Seismic risk assessment methods in old Tbilisi // Natural Disasters designing for safety. Proceedings of UIA work programmed conference. UIA-Chamber of Architects of Turkey. – Istanbul. 2001, P. 81-88.
17. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. – Brussels – 2003. – 229 p
18. <http://seismos-u.ifz.ru/hazard.htm>

19. <http://www.pandia.ru/text/77/156/22985-2.php> Детальное сейсмическое микрорайонирование

20. Trifunac, M. D., Brady A.G. On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of ground motion records. // Bull. Seism. Soc. Am. 1975. V.65, P.139-162

THE QUANTITATIVE ASSESSMENTS OF THE SEISMIC RISK

© 2014 G.A. Djinchvelashvili, Cand. Techn. Sci., O.V. Mkrtychev, Doct. Techn. Sci., M.F. Keleshev, Cand. Techn. Sci.

N.E. Baumann Moscow State Construction University, Build. 1, #5, 2nd Baumanskaya st., Moscow, 105005, e-mail: bauman@bmstu.ru

The concepts of seismic risk are examined and the procedure of calculation of the probability of the failure of construction with the earthquake is given. Centuries-old experience of fight with the consequences of earthquakes, accumulated by humanity, attests to the fact that the most efficient method of their minimization consists of taking of advance and scale antiseismic measures even with the building on the earthquake-hazard territories. Antiseismic measures a priori need additional expenditures in the comparison with the building in the nonseismic regions. From the point of view of the effectiveness of such expenditures they must be justified by reduction in the probable losses (risks of damage) from the earthquakes.

The keywords: seismic risk, seismic intensity, the function of vulnerability.

УДК 550. 4 +УДК 699.84

ФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ МЕЖЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ЗДАНИЙ В ВИДЕ ОБОЛОЧЕК

© 2014 В.Б. Заалишвили¹, д.ф.-м.н., проф., М.А. Даниели², доц.

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

²Ариэльский университет, Израиль, 40700, г. Ариэль, Кирьят Хамада, 3 e-mail: madanieli@ariel.il

Динамическое испытание сооружений и их конструктивных элементов предполагает использование внешнего, искусственного воздействия на них в виде импульсной или вибрационной нагрузки. Импульсное воздействие отличается кратковременным воздействием, как правило, в пределах упругих деформаций. При значительном увеличении времени воздействия нагрузка, и соответствующие испытания примут вид статических. Вибрационное интенсивное воздействие позволяет управлять спектральным составом возбуждающих колебаний и приближается к реальному воздействию. В статье приводится анализ результатов динамических испытаний школьного здания в г. Тбилиси, проведенных в 1991 г.

Ключевые слова: межэтажные перекрытия, динамические испытания, сейсмограмма.

Введение

Динамическое испытание сооружений и их конструктивных элементов предполагает использование внешнего, искусственного воздействия на них в виде импульсной или вибрационной нагрузки. Импульсное воздействие отличается кратковременным воздействием, как правило, в пределах упругих деформаций. При значительном увеличении времени воздействия нагрузка, и соответствующие испытания примут вид статических. Вибрационное интенсивное воздействие позволяет управлять спектральным составом возбуждающих колебаний и приближается к реальному воздействию. В то же время при испытании старых, деформированных зданий и сооружений, как правило, используются импульсные источники, т. к. здесь появляется необходимость более осторожного воздействия, а вибрационное воздействие, при всех его достоинствах, не исключает вредного, за пределами линейного, воздействия. Это, разумеется, совсем не исключает такого же вредного воздействия импульсными источниками, но, как правило, здесь продолжительность воздействия весьма ограничена. В то же время, динамические испытания с помощью вибраторов рекомендованы и даже необходимы при исследовании, например, сейсмостойкости уникального, строящегося или вновь построенного здания или сооружения, а также при определении динамических характеристик конструкций нового типа и т. д.

Строго говоря, воздействие на здание или сооружение в реальных условиях происходит через грунты оснований. Поэтому результаты реакции здания или сооружения на искусственное воздействие в виде вибраций или импульса непосредственно через элементы конструкции имеют определенные ограничения. В то же время это

позволяет изучать конкретные проявления строго контролируемых воздействий.

В линейных системах с N степенями свободы ($N > 1$) свободные колебания в каждой точке являются суперпозицией N колебаний. Если восстанавливающая сила не пропорциональна отклонению от положения равновесия, тогда свободные колебания описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, и система будет рассматриваться в виде нелинейной. При этом колебания – не синусоидальны и их период зависит от начальных условий (период свободных колебаний маятника тем больше, чем больше амплитуда). Сам характер и скорость затухания позволяет определить т. н. логарифмический декремент колебаний:

$$\delta = \ln \frac{a_n}{a_{n+1}}, \quad (1)$$

где a_n , a_{n+1} – ординаты амплитуд последовательных соседних экстремумов колебаний.

Поглощение энергии ψ непосредственно определяется этим параметром ($\psi = 2\delta$). Рассмотренные параметры наиболее полно характеризуют не только динамические характеристики сооружения, но и его физическое (техническое) состояние. Как показывают материалы обследования последствий землетрясений, здания или сооружения после воздействия сильного движения, часто внешне, даже не имеющие следов деформаций, характеризуются измененными динамическими параметрами. Указанное явление достаточно хорошо известно. В то же время многие взаимосвязи между интенсивными воздействиями и реакцией любой физической системы, определяющих их поведение при сильных землетрясениях или взрывах все еще остаются неясными. В этой связи представляется целесообразным рассмотреть результаты динамических испытаний школьного здания в г. Тбилиси, проведенных нами еще в 1991 г. и до сих пор не опубликованных [Заалишвили, 2009].

Динамические испытания элементов конструкций школы

Школа представляла собой трехэтажное, прямоугольное в плане, здание (рис. 1). Отличительной особенностью школы являлось использование в качестве межэтажных перекрытий оболочек на всех трех уровнях по высоте здания. Оболочки – достаточно большие (в плане – 8×16 м, толщиной порядка 10 см). В свое время (50-е годы XX столетия) применение оболочек в строительстве того или иного здания являлось показателем технического совершенства ж/б конструкций. Оболочки как строительная конструкция – достаточно экономная, гибкая и легкая в использовании во многих общественных зданиях получила большое на тот период распространение. Но со временем (на период проведения исследований, т. е. конец 80-х годов XX столетия), многие из них уже подвергались вынужденным, т. е. необходимым усиленным мероприятиям (здание санатория «Металлург» в Цхалтубо, здание по пр. И. Чавчавадзе Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили и т. д.). В связи с этим, исследованию физического состояния указанных конструкций со стороны властных структур на тот период стало уделяться достаточно внимания и средств, сегодня редко достижимых.

Рассмотрим кратко конструктивные особенности исследуемого школьного здания. Межэтажные перекрытия здания фактически на момент испытания находятся в различных условиях эксплуатации путем различного защемления стенами – перегородками.

Так перекрытие третьего этажа в верхней плоскости пересекается по всей ширине (рис. 1) бетонными жесткостными элементами (0,4x0,4 м). Сверху по продольной оси на перекрытия опирались деревянные стойки крыши. На момент испытания об этом можно было говорить только в прошедшем времени, т.к. указанные стойки не опирались на перекрытие, опустившееся или ушедшее ниже на 10-15 см.

На перекрытие II этажа по той же продольной оси опиралась легкая перегородка, образующая несколько дополнительных классных комнат. Другими словами, здесь только половина оболочки представляла свободную поверхность.

Перекрытие I этажа было полностью свободно. Здесь при самом осторожном передвижении ощущались значительные колебания, т.е. оболочка здесь была весьма гибкой (дело доходило до того, что школьники здесь раскачивались на перемехах).

Для стандартизации экспериментальных исследований был выбран поперечный разрез, свободный по всему протяжению, по линии которого устанавливались сейсмоприемники (СМ-3, ВЭГИК) комплектующие трехкомпонентные измерительные пункты.



Рис. 1 Модель исследуемого здания.

Испытание было начато с третьего, самого верхнего перекрытия. Для возбуждения колебаний нами использовалось раскачивание, а также сбрасывание груза. Один из соавторов (строитель) в силу, видимо, большой опытности и собственной массы делал это более изощренно. При этом второму соавтору (геофизик) на фоне неожиданно возникших интенсивных колебаний, много превышающих все мыслимые уровни воздействия, пришлось несколько тяжелейших мгновений его жизни уповать исключительно на надежность подлежащей испытанию с этой же целью конструкции или, наконец, высокий профессионализм будущего второго соавтора будущей статьи (а точнее – только на Всевышнего!). Необходимо, впрочем, отметить, что оба внешних фактора в связи с, несомненно, более основополагающей и глубокой причиной, на которую мы честно указали, благополучно оправдали ожидания. Можно только догадываться, что думал обо всем этом высокопоставленный представитель главного врача санатория, на тот период все еще всесоюзного уровня, наблюдавший «неприхотливые» движения ученых и, на его счастье (или большую сообразительность?), так и не осмелившийся ступить на деформированное перекрытие. Но вернемся к испытанию перекрытия, по оценке надежности которого, так заблаговременно и в органическом единении с природой были получены самые обнадеживающие результаты.

Итак, анализ полученных данных показал, что на всех сейсмограммах (рис. 2, перекрытия III этажа) присутствовали колебания с частотой 6-7 Гц с наложенными на них более высокочастотными колебаниями 13-14 Гц. Частота собственных колебаний системы составляла $6 \div 7$ Гц. Более высокочастотные колебания были связаны с особенностями крепления оболочки (поперечные бетонные стены и т. д.). Низкочастотные колебания, наблюдающиеся на всех записях при выходе системы из положения равновесия ($f=3,5$ Гц), можно было бы, на первый взгляд, отнести к особенностям возмущения. В то же время, нами были зарегистрированы «автоколебания», т. е. незатухающие колебания, которые (согласно определению) «могут существовать и при отсутствии внешнего воздействия». При этом их амплитуда и частота колебаний определяются только свойствами самой системы, и в определенных пределах не зависят от начальных условий. Здесь везде наблюдались колебания частотой 3,5 Гц, накладывающиеся на колебания с частотой 6-7 Гц и являющиеся ничем иным, как частотой собственных колебаний «чистой» (свободной) оболочки. «Обросшая» связями оболочка характеризовалась частотой колебаний уже 6-7 Гц.

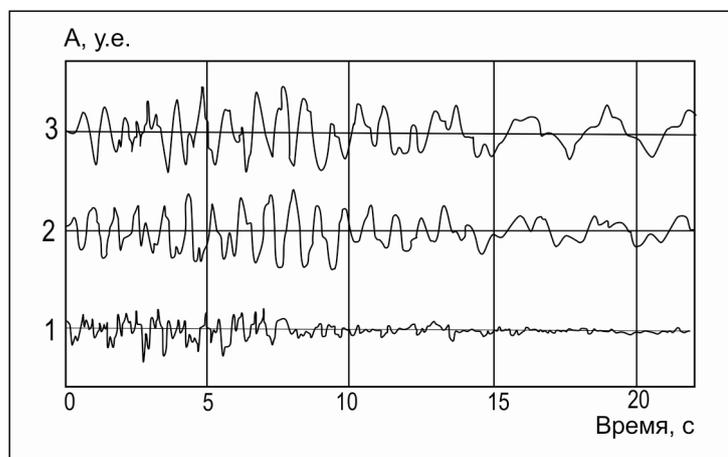


Рис. 2. Типичная сейсмограмма испытаний (1- номер оболочки)

Следует отметить явление значительного изменения величины логарифмического декремента колебаний оболочек. При выведении системы из положения равновесия имеет место т. н. переходной процесс, когда система «сопротивляется» изменению ее состояния. В начальный момент затухания, т. е. при больших значениях амплитуд, затухание – наибольшее и значения логарифмического декремента также наибольшие: $\delta_1 = 0,51 - 0,85$, второй этап затухания характеризуется $\delta_2 = 0,33 - 0,30$ и наконец, третий – $\delta_3 = 0,13 - 0,30$.

За установившееся (устойчивое) колебание, обычно, принимается колебание с момента наступления третьего этапа затухания. Первые два отрезка колебаний, как правило, не рассматриваются и никак («переходной этап») не комментируются [Лужин и др., 1987]. В то же время, именно здесь наблюдаются наибольшие ускорения, характеризуемые относительно высокочастотными составляющими, причем, весьма быстро (поглощающимися системой) затухающими. Другими словами, здесь большие амплитуды, характеризуются большей частотой колебаний и малые – меньшей частотой колебаний.

Таким образом, частота колебаний зависит от интенсивности колебаний (высокочастотные колебания – $14 \div 16$ Гц, даже иногда достигающие 40 Гц, являются, очевидно, вкладом в результирующее колебание различного рода жесткостных ребер или пластических деформаций и т. д.). На перекрытии II этажа частота собственных колебаний выше – $7 \div 8$ Гц (на краях – $10 \div 20$ Гц).

Таким образом, наблюдается влияние схемы заземления оболочки на спектральный состав колебаний. Так, больше влияет верхняя, покоящаяся на ней конструкция заземления (стены), изменяющая ее массу и в конечном итоге – жесткость. Для перекрытия III этажа она всего лишь поддерживает, ограничивает движение (внутренние стены не являются несущими). Перекрытие I этажа колеблется с частотой $4,3 \div 5,3$ Гц. У краев перекрытия частота колебаний составляет – $8 \div 20$ Гц.

На сейсмограммах, полученных на перекрытии I этажа, наименьший декремент колебаний – $\delta = 0,05 \div 0,25$. В центральной части перекрытия имеем самые низкочастотные колебания – $2 \div 3,5$ Гц (рис. 3). Здесь хорошо видны затухающие, низкочастотные, квазисинусоидальные колебания в начале и последующей части трассы сейсмограммы. Колебания модулированы как по амплитуде, так и по фазе, что приводит к определенным трудностям при обработке данных наблюдений. Если проводить аналогию с радиотехническими понятиями и концепциями, то можно сделать вывод, что гармонические, относительно высокочастотные колебания модулируются низкочастотными. Интересно отметить, что при этом, высокочастотные колебания являются, т. н. несущей частотой, являющейся лишь средством передачи сигнала, а основная информация о движении рассматриваемого элемента здания или сооружения, впрочем, как и любой физической системы – передается низкочастотной модуляцией.

Действительно, предполагая сигнал модулированным, частоты колебаний $3,5-7,0$ Гц можно рассматривать, как частоты собственных колебаний системы ($3,5-7$ Гц), а частоты $10 \div 14$ Гц, рассматривать лишь средством передачи энергии или колебаниями несущей частоты. При этом появляется возможность путем анализа колебаний получать более глубокие сведения о явлениях, происходящих в испытуемом элементе при интенсивных нагрузках. С этой точки зрения особый интерес представляет, на наш взгляд, сейсмограмма, полученная на перекрытии III этажа. В средней части записи имеет место регистрация, очевидно, изменения

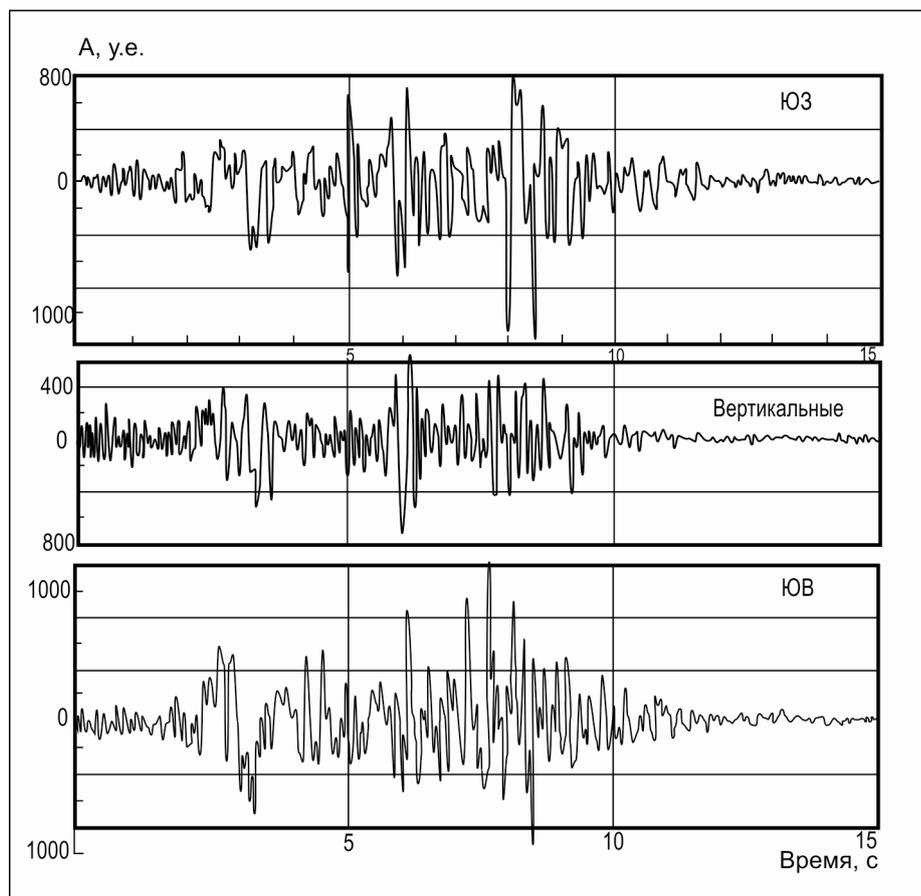


Рис. 3. Анализ записей

физико-механических свойств данной части строительной конструкции в процессе деформации. Указанное явление можно сравнить с сейсмограммой, полученной при землетрясении в Ниигата в 1964 г. (рис. 4).

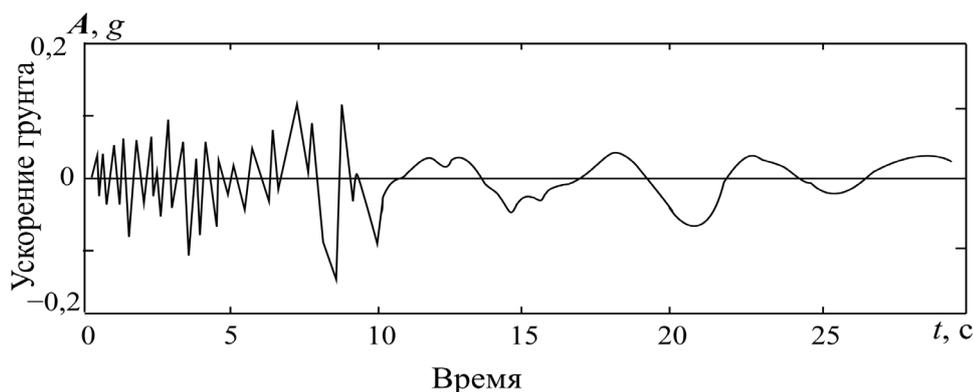


Рис. 4. Запись Ниигатского землетрясения (Япония, 1964)

Таким образом, даже простое сопоставление показывает, что на анализируемых записях движений оболочек отчетливо наблюдаются нелинейные явления в области интенсивных воздействий. Запись характеризуется также весьма неравномерным уходом от начального положения или положения равновесия. Если бы это был грунт, то можно было бы говорить о различиях движений, обусловленных

присутствием свободной границы и различиями эффектов «разрежения – сжатия». Но здесь мы имеем интегрированную систему «перекрытие-среда» со свободными границами с обеих сторон. Поэтому такая неравномерность может объясняться особенностями физического состояния элементов конструкций указанного здания, которые при интенсивных воздействиях характеризуются отчетливыми проявлениями нелинейных эффектов.

Итак, анализ сейсмограмм показывает, что на них зарегистрировано модулированное колебание. Рассмотрим модуляцию синусоидального сигнала в различных аспектах. При амплитудной модуляции синусоидальным сигналом модулированное колебание может быть записано в виде [Гершензон и др., 1971]:

$$X = A_0(1 + m \sin \Omega t) \sin(\omega t - \gamma), \quad (2)$$

где A_0 и ω – амплитуда, и угловая скорость исходного сигнала, соответственно;
 Ω – частота модуляции;
 m – глубина модуляции;
 При этом

$$m = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \quad (3)$$

Модулированное колебание представляет собой сумму трех синусоидальных колебаний: ω , $\omega + \Omega$ и $\omega - \Omega$.

В случае частотной модуляции синусоидальным сигналом частота колебаний меняется согласно зависимости:

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t, \quad (4)$$

где $\cos \Omega t$ – модулирующий сигнал;
 $\Delta\omega$ – девиация частоты.

Полоса частот модулированного колебания зависит от величин индекса частотной модуляции ($\beta = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$). При $\beta < 1$ (это справедливо для нашего случая) будем иметь следующее выражение для частотно-модулированного колебания [Гершензон и др., 1971]:

$$X = A_0(\sin \omega t + \beta \sin \Omega \cos \omega t) \quad (5)$$

Частотно-модулированное колебание, как и амплитудно-модулированное, состоит из несущей частоты ω и двух спутников с частотами $\omega + \Omega$ и $\omega - \Omega$. Поэтому полосы частот занимаемые ими одинаковы. При больших β спектр боковых частот значительно увеличивается и кроме колебаний с частотами $\omega \pm \Omega$ появляются колебания, частоты которых будут кратны Ω : $\omega + 2\Omega$, $\omega + 3\Omega$ и т. д.

Предполагая колебания синусоидальными (допущение вполне оправданное для практических целей), получим, что форма модулированных колебаний и их спектральный состав для частотной и фазовой модуляции будет аналогичны, и тогда колебание с частотной модуляцией будет иметь вид:

$$X = A_0 \sin(\omega_0 t + \Delta\gamma \cos \Omega t) \quad (6)$$

Учитывая, что мы имеем затухающее колебание с амплитудно-фазовой модуляцией с учетом (6), можно записать:

$$X = A_0 e^{-\delta t} (1 + m \sin \Omega t) \sin(\omega_0 t + \Delta \gamma \cos \Omega t) \quad (7)$$

Исходя из того, что форма модулированных колебаний и спектральный состав для фазовой и частотной модуляций идентичны, можно с учетом (6) переписать выражение (8) в виде:

$$X = A_0 e^{-\delta t} (1 + m \sin \Omega t) (\sin \omega t + \beta \sin \Omega t \cos \omega t) \quad (8)$$

Полученное выражение будет достаточно точно описывать зарегистрированные колебания на межэтажных перекрытиях. Примем, что частота Ω – это исходная частота затухающих (собственных) колебаний и ω – несущая частота. Рассмотрим пример, использования указанной формулы (амплитуды приняты в абсолютных значениях записей).

$$\text{Пусть } \beta = \frac{\Delta \omega}{\Omega} = 0.0167;$$

$$m = 0,474;$$

$$\delta = 0,442.$$

$$A_0 = A_{\text{макс}} = 14 \text{ мм};$$

$$A_{\text{мин}} = 5 \text{ мм};$$

$$t = 15 \cdot 0,0233 \text{ с} = 0,357 \text{ с};$$

$$\omega = 24 \text{ Гц};$$

$$\Omega = 88 \text{ Гц};$$

$$\text{Тогда } x = 14 \cdot 0,56 \cdot e^{-0,442 \cdot 0,357}$$

$$x = 6,7 \text{ мм} \approx 7 \text{ мм}$$

Соответствующее измерение показало, что реальная амплитуда смещения оболочки действительно составила $x = 7 \text{ мм}$.

Выводы

Таким образом, существует возможность достаточно точного расчета затухающих нелинейных колебаний зданий и сооружений аналитическим путем. Это предполагает необходимость постановки специальных экспериментальных исследований по изучению уровню нелинейных явлений в строительных конструкциях, позволяющих с большей надежностью выделить те или иные воздействующие факторы на их основные динамические характеристики по сравнению со сложными дисперсными системами – рыхлыми грунтами. Это позволит в дальнейшем развить глубину и обоснованность метода анализа сильного грунтового движения при интенсивных сейсмических нагрузках. С другой стороны, полученные выводы представляют интерес и для анализа особенностей колебаний строительных конструкций и их физического состояния в момент исследования.

Литература

1. Гершензон Е.М., Малов Н.Н., Полянина Г.Д., Эткин В.С. Радиотехника. М.: – Просвещение. 1971. 456 с.
2. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. М.: – Наука, 2009. 350 с.
3. Лужин О.В., Злочевский А.Б., Горбунов И.А., Волохов В.А. Обследование и испытание сооружений. М.: – Стройиздат, 1987, 263 с.

PHYSICAL ANALYSIS OF THE SPECIAL FEATURES OF FLUCTUATIONS WITH THE INTENSIVE DYNAMIC LOADS OF THE INTERFLOORS OF THE BUILDINGS IN THE FORM OF THE SHELLS

© 2014 V.B. Zaalishvili¹, Doct. Phys.-Math. Sci., Prof., M.A. Daniely², Senior Lecturer

¹Center of Geophysical Investigations of VSC RAS and RNO-A, 93a, Markova st.,
Vladikavkaz, 362002, Russia, e-mail: cgi_ras@mail.ru

²Ariel University, ³Kiryat Hamada, Ariel, 40700, Israel
e-mail: madanieli@ariel.il

Dynamic testing of construction and their structural elements assumes the use of external, artificial action on them in the form of pulse or vibration load. Pulse action is characterized by short-term action, as a rule, in the limits of elastic deformations. With a notable increase in the time of action the load, and the corresponding tests will take the static form. Vibration intensive action makes it possible to govern the spectral composition of the exciting fluctuations and it approaches to the real action. In the article is given the analysis of the results of the dynamic tests of school building in Tbilisi, carried out in 1991.

The keywords: interfloors, dynamic tests, seismogram.

УДК 550.34

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

© 2014 В.Б. Заалишвили, д.ф.-м.н., проф., Б.В. Дзеранов, к.г.-м.н.,
Л.Н. Невский, И.Г. Архиреева

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

На основе учета всей совокупности факторов – сейсмическая опасность, уязвимость застройки, сейсмический риск, – разработана методика оценки и прогноза сейсмического риска. Используя полученные результаты, выполнена оценка сейсмического риска территории города Владикавказа, что позволило выделить наиболее сейсмически уязвимые участки.

Ключевые слова: сейсмический риск, застройка, уязвимость, потери.

Увеличение численности населения и развитие промышленности обуславливает освоение новых территорий, в том числе, сейсмически опасных. В настоящее время урбанизация новых районов в развитых странах нередко идет очень высокими темпами. При этом, почти 90% урбанизированной территории, как правило, расположены в областях с высокой степенью риска проявления различных природных опасностей.

В общем случае под риском понимают возможность наступления некоторого неблагоприятного события, влекущего за собой различного рода потери. Существование риска связано с невозможностью с точностью до 100% прогнозировать будущее. Исходя из этого, следует выделить основное свойство риска: риск имеет место только по отношению к будущему и неразрывно связан с прогнозированием и планированием, а значит и с принятием решений вообще.

Чтобы понять актуальность вопроса оценки сейсмического риска, достаточно взглянуть на данные убытков от наиболее крупных землетрясений, приведенные в (табл. 1) [Coburn and Spence, 1992]. Ущерб приведен в миллиардах долларов, и, кроме того, в процентах от валового национального продукта (ВНП) страны, в которой произошло землетрясение, что позволяет более адекватно оценить последствия землетрясения для каждой страны. Так, к примеру, 45 млрд. убытков для Италии – это всего 6,8% от ВНП, а 2,0 млрд. для Никарагуа уже 40,0% ВНП.

Целью оценки риска является оценка потенциального ущерба и потерь от будущих землетрясений (последствия) и вероятности их возникновения в заданный период времени (вероятность).

Оценка сейсмического риска предполагает следующие основные шаги:

Анализ сейсмической опасности:

- Идентификация очагов землетрясений;
- Моделирование возникновения землетрясений от этих источников;
- Оценка затухания колебаний землетрясения;
- Оценка влияния грунтовых условий, разжижения, оползней и поверхностных разрывов;

Таблица 1

**Экономические потери от сильных землетрясений
(Coburn and Spence, 1992)**

Страна	год	Ущерб миллиарды \$	Убытки (% ВВП)
Никарагуа	1972	2,0	40,0
Гватемала	1976	1,1	18,0
Китай	1976	6,0	1,5
Румыния	1977	0,8	3,0
Югославия	1979	2,2	10,0
Италия	1980	45,0	6,8
Мексика	1985	5,0	3,0
Греция	1986	0,8	2,0
Сальвадор	1986	1,5	31,0
СССР	1988	17,0	3,0
США	1989	8,0	0,2
Иран	1990	7,2	7,2
Филиппины	1990	1,5	2,7

Паспортизация застройки:

- Идентификация инфраструктуры (зданий и инфраструктуры), которые подвергаются повреждению;
- Классификация зданий и инфраструктуры в соответствии с их уязвимостью;
- Классификация зданий и сооружений в зависимости от загрузки;

Моделирование повреждений:

- Моделирование поведения разных классов застройки при сейсмическом воздействии;
- Разработка функции повреждения (отношение между уровнями повреждения и соответствующим уровнем сейсмического воздействия);
- Оценка ущерба от землетрясения, нанесенного застройке;
- Оценка ущерба, причиненного застройке пожарами, возникшими после землетрясения;

Оценка потерь:

- Оценка прямых потерь связанных с расходами на ремонт повреждений;
- Оценка косвенных убытков, связанных с потерей функции застройки;
- Оценка жертв, вызванных повреждением.

Кроме того также важны социально-экономические последствия ущерба от землетрясения. Тем не менее, оценка социально-экономических последствий является более сложной задачей, и нет четко определенного метода оценки. Как правило, оценка производилась как коэффициент прямых потерь, чтобы указать порядок таких убытков.

Ряд исследователей рассматривали экономические последствия землетрясений [Cochrane, 1995]. Исследования по оценке таких последствий, продолжаются. Например, [Gordon et al., 1997] изложил основы для оценки общего экономического эффекта от влияния землетрясений на транспортную систему (рассматривались только мосты), используются модели ввода/вывода.

В их числе модели изменения в спросе на перевозки после землетрясения. Однако практическое применение этой модели для оценки риска дорожной сети не было продемонстрировано [Vrabhaharan et al., 2001]. Многопрофильный центр ис-

следований в области сейсмостойкого строительства (MCEER) в США занимается разработкой модели для оценки экономических последствий повреждения транспортных сетей.

Было бы целесообразно рассмотреть оценку социально-экономических последствий землетрясений в качестве будущего расширения оценки сейсмического риска.

Первичным результатом оценки сейсмического риска являются полученные базы данных и карты, на которых выделены пространственное распределение ущерба и потерь. База данных к примеру будет включать общую оценку ущерба, число жертв, число людей, пострадавших от ущерба, сроки для основного восстановления и вероятных затрат на ремонт.

База данных охватывает следующие объекты:

- Коммерческие, промышленные и жилые здания;
- Жизненно важные объекты, включая больницы, полицейские участки и пожарные станции;
- Инфраструктура, в том числе:
 - Электрические линии и сети связи, включающие подстанции, телефонные сети, подземные и воздушные линии;
 - Дорожные сети, в том числе мосты;
 - Водные объекты, включая резервуары, насосные станции и водозаборы.

Для инфраструктуры, также будут оцениваться сопутствующие явления (такие как сбой организации дорожного движения).

Графические материалы используются для выделения пространственного распределения повреждений объектов.

Кроме того необходимо отметить большой вклад российских исследователей в области оценки сейсмического риска. К примеру, согласно модели В.И. Кейлис-Борока, И.Л. Нерсесова и А.М. Яглома, экономический эффект сейсмостойкого строительства определяется соотношением между затратами на антисейсмические мероприятия и экономией (т.е. сокращением убытков от землетрясений). Затраты при этом суммируются из всех дополнительных капиталовложений в строительство и покрытия убытков, в случае повреждения зданий и сооружений, а также всех косвенных убытков связанных с повреждением материальных ценностей внутри зданий; временного сокращения производства; вторичных разрушений, а так же ущерба, нанесённого здоровью людей и т.д.

В работах Я.М. Айзенберга, А.И. Неймана за экономический критерий оптимальности антисейсмических усиления сооружений принимаются средневероятные полные затраты, связанные с сейсмической опасностью. В этом случае оптимальные затраты на антисейсмические мероприятия определяются путем минимизации целевой функции, соответствующей критерию оптимальности.

Необходимо отметить громадный вклад, внесенный М.А. Клячко в создание сценариев землетрясений и в их использование для анализа риска и управлению риском. Он одним из первых выполнил исследования в этой области и разработал руководство по разработке и применению сценариев. Кроме того им также предложена оригинальная терминология в этой области.

Большая работа по оценке сейсмического риска г. Владикавказа на примере ул. Куйбышева была проведена Центром геофизических исследований в 2005 г. [Заалишвили и др., 2005] В результате этой работы была произведена классификация зданий в зависимости от типа конструкции (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Классы зданий по типу конструкций

Типы зданий	Характеристики
A	Здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома
B	Обычные кирпичные дома, здания крупноблочного и панельного типа, фахверковые строения, здания из естественного тесаного камня
C	Каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки
D	Крупнопанельные здания

На рис. 1 показана диаграмма зависимости уязвимости зданий от интенсивности сейсмического воздействия.

На основе учета всей совокупности факторов: сейсмическая опасность, уязвимость застройки, сейсмический риск разработана методика оценки и прогноза сейсмического риска. [Zaalishvili, 2012; Заалишвили и др., 2011]

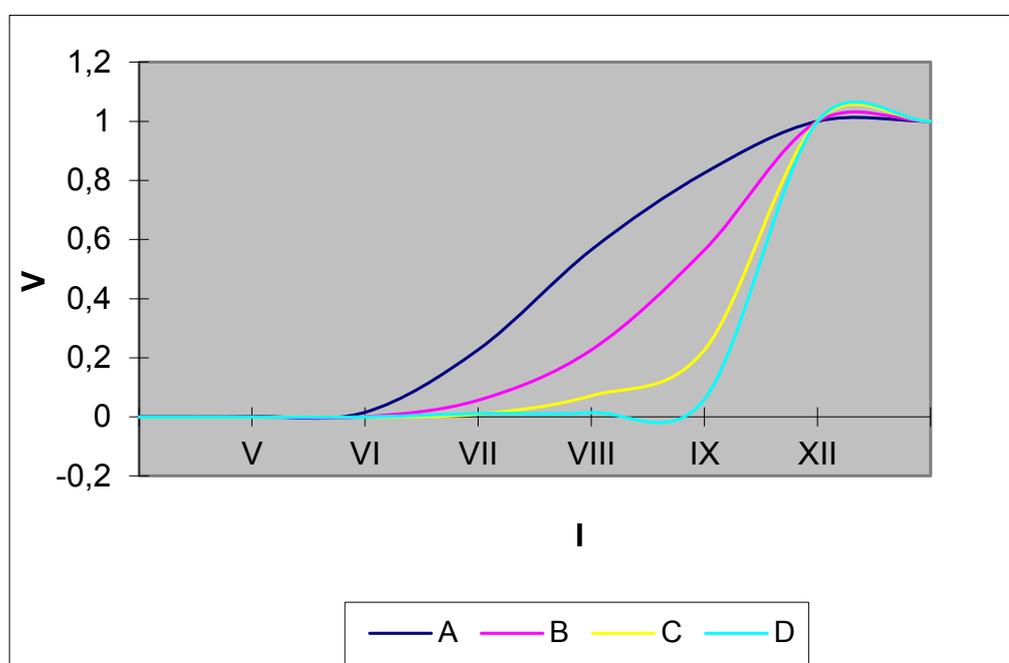


Рис. 1. Диаграмма зависимости уязвимости зданий от интенсивности сейсмического воздействия

Ниже приведен расчёт риска сейсмических потерь для различной интенсивности сейсмического воздействия:

А) Сейсмическое воздействие 7 баллов шкалы MSK-64:

– Хольцман

$$RSL=7/8*29427/29427*5885/5885=0.875$$

– Балкинский проезд-улица Пионеров

$$RSL=7/5*706.5/28532*35/2140+7/6*20908,5/28532*375/2140+7/7*6917/28532*1730/2140=0.35$$

– Улица Пионеров-улица Лермонтовская

$$RSL=7/6*34728.4/35432*2410/2660+7/7*703.6/35432*250/2660=1.038$$

– Улица Лермонтовская-улица Фрунзе

Таблица 3

Сведения по типам зданий и численности населения для расчёта риска сейсмических потерь

Наименование участков в районе улицы Куйбышева	Общая площадь м ²	Площадь домов м ² Число домов	Процент застройки	Конструктивные типы зданий и их площадь в м ² Количество домов (групп) – штук				Численность населения общая, в том числе по отдельным типам зданий-человек				Средняя этажность зданий
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				29427				5885				
Хольцман	166288	29427 38	17.7	–	–	–	29427 38	–	–	–	5885	4
Балкинский проезд-улица Пионеров	177853	28532 178	16.0	706.5 6	20908.9 166	6916.6 6	–	35	375	1730	2140	1.5
Улица Пионеров-улица Лермонтовская	159501	35432 149	22.2	–	34728.4 148	703.6 1	–	–	2410	250	2660	1.5
Улица Лермонтовская-улица Фрунзе	194762	62870 107	32.2	528.5 2	39802 86	22539.5 19	–	26	1372	5517	6915	2.2
Улица Фрунзе-улица Ленина	232448	96070 101	41.3	–	89192.8 93	6877.2 8	–	–	9283	1767	11050	2.3
Улица Ленина-река Терек	207625	103458 89	49.8	–	96764.2 83	6693.8 6	–	–	8925	1425	10350	2.0
Итого	1138477	355789 662	31.3	1235 8	281396.3 576	43730.7 40	29427 38	61	22365	10689	39000	2.2

$$RSL=7/5*528.5/62870*26/6915+7/6*39802/62870*1372/6915+7/7*22539.5/62870*5517/6915=0.43$$

– Улица Фрунзе-улица Ленина

$$RSL=7/6*89192.8/96070*9283/11050+7/7*6877.2/96070*1767/11050=0.92$$

Улица Ленина-река Терек

$$RSL=7/6*96764.2/103458*8925/10350+7/7*6693.8/103458*1425/10350=0.95$$

Б) Сейсмическое воздействие 8 баллов шкалы MSK-64:

– Хольцман

$$RSL=8/8*29427/29427*5885/5885=1$$

– Балкинский проезд-улица Пионеров

$$RSL=8/5*706.5/28532*35/2140+8/6*20908.5/28532*375/2140+8/7*6917/28532*1730/2140=0.40$$

– Улица Пионеров-улица Лермонтовская

$$RSL=8/6*34728,4/35432*2410/2660+8/7*703,6/35432*250/2660=1.19$$

– Улица Лермонтовская-улица Фрунзе

$$RSL=8/5*528.5/62870*26/6915+8/6*39802/62870*1372/6915+8/7*22539.5/62870*5517/6915=0.49$$

– Улица Фрунзе-улица Ленина

$$RSL=8/6*89192.8/96070*9283/11050+8/7*6877.2/96070*1767/11050=1.05$$

– Улица Ленина-река Терек

$$RSL=8/6*96764.2/103458*8925/10350+8/7*6693.8/103458*1425/10350=1.09$$

Для характеристики риска сейсмических потерь по аналогии с учебным пособием «Сейсмическая защита и её организация» – ГЮМРИ ЭЛЬДОРАДО 2004 год, были приняты три степени риска: высокий ($RSL > 1.1$), средний ($1.1 \geq RSL > 1.0$) и низкий ($RSL \leq 1.0$).

Проанализированную часть площади города Владикавказа можно представить в виде плана риска сейсмических потерь, с детальностью до любого существующего строения. На таком плане, каждый из шести выделенных ранее участков, будет отображён в соответствии с подсчитанным риском сейсмических потерь и предполагающимся уровнем сейсмического воздействия.

Для территории г. Владикавказа в Центре геофизических исследований составлен набор карт сейсмической опасности для повторяемости 50 лет и вероятностью превышения сейсмической опасности 1%, 2%, 5% и 10%. Полученные данные относятся к так называемым «средним грунтам». Для территории г. Владикавказа отдано предпочтение карте с вероятностью 2%, которая приближается к существующим оценкам уровня сейсмической опасности. При этом южная часть города находится в 8 балльной зоне, а северная – 7-мибалльной. Изучавшаяся площадь, прилегающая к улице Куйбышева, хотя пространственно и располагается вблизи от центральной части города, всё же находится ближе к 8 балльной сейсмической зоне.

Изучение отдельных элементов цепочки позволяет разрабатывать конкретные мероприятия путем использования соответствующих технологий. В итоге проведенной работы была произведена оценка возможных экономических потерь от землетрясения интенсивностью 8 баллов (рис. 2).

Как можно видеть из рис. 3, в случае возникновения эффекта разжижения грунтов в районе расположения микрорайона «Весна» экономические потери могут составить уже не 17,7 млн. руб. а 100 млн. руб.

Экономические потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов

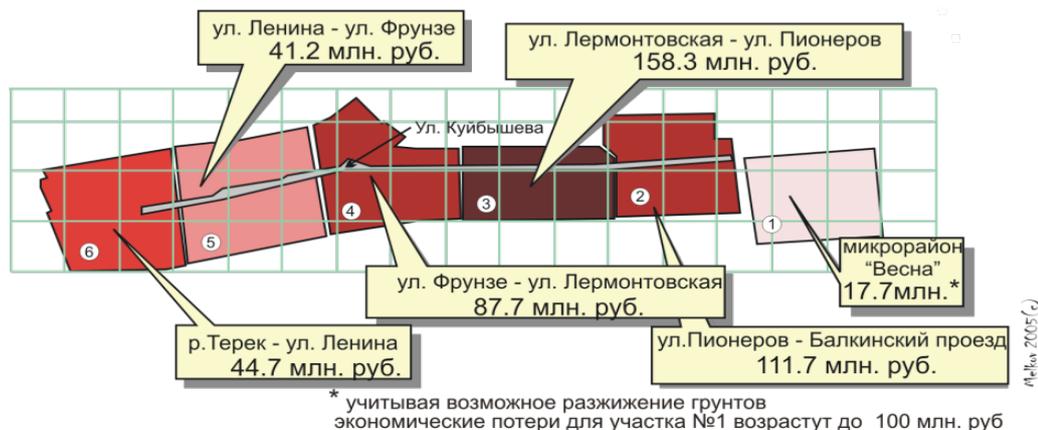


Рис. 2 Экономические потери по ул. Куйбышева при землетрясении интенсивностью 8 баллов.

Экономические потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов

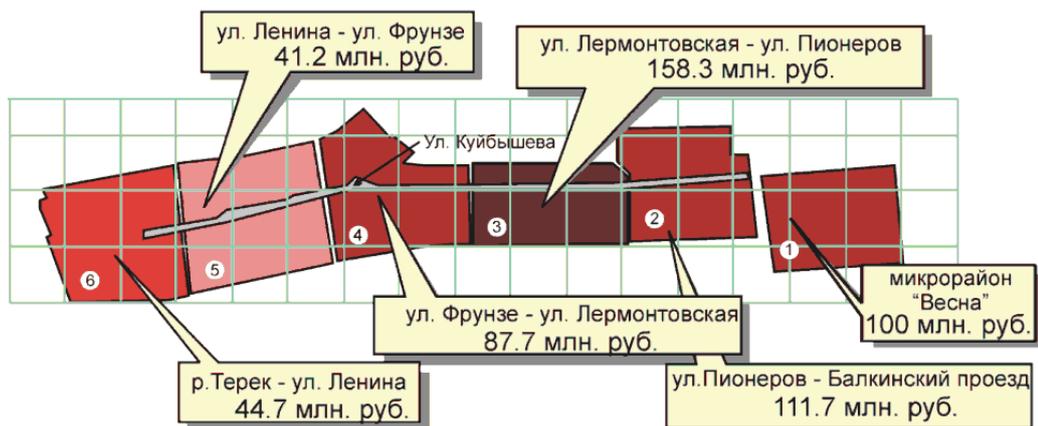


Рис. 3 Экономические потери по ул. Куйбышева при землетрясении интенсивностью 8 баллов учитывая возможное разжижение грунтов.

Выводы:

1. Были изучены и проанализированы существующие на данное время на территории России и за рубежом методы оценки сейсмического риска. Приведена методика и последовательность работ по оценке сейсмического риска.
2. На основе современных информационных технологий создана база данных застройки г. Владикавказа по ул. Куйбышева, и приведены схемы с возможными экономическими потерями от землетрясения интенсивностью 8 баллов.
3. Использование разработанной методики оценки сейсмического риска позволяет рассчитывать рейтинг грунтов и сейсмический риск для всей территории города Владикавказа, и выделять наиболее сейсмически уязвимые участки.

Литература

1. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мажиев Х.Н. Оценка сейсмического риска застройки г. Владикавказа на примере ул. Куйбышева. – Владикавказ, Труды ГФЦЭД. 2005. –201 с.

2. Заалишвили В.Б., Архиреева И.Г., Заалишвили З.В. Экономическая эффективность проведения сейсмического микрорайонирования. Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 24-26 октября 2011 г., С.77-84.

3. Brabhaharan P., Fleming M.J. and Lynch R. (2001). Natural hazard risk management for road networks. Part I: Risk management strategies. Transfund New Zealand Research Report 217. 75pp.

4. Coburn A., Spence R., (1992), Earthquake Protection, John Wiley & Sons

5. Cochrane H. (1995). The economic impact of earthquake disasters. Proc of conference on Wellington after the 'Quake – the challenge of rebuilding cities. 27-29 March 1995. Published by the Earthquake Commission. pp65–79.

6. Gordon P., Moore II J. E., Richardson H. W., Shinozuka M., Cho K. Y., Cho S. B., Kim B. S. and Kim, G. Y. (1997). An integrated model of bridge performance, highway networks, and the spatial metropolitan economy: towards a general model of how losses due to earthquake impacts on lifelines affect the economy. NCEER Technical Report (Earthquake Engineering Frontiers in Transportation 97-0005. p515-525.

7. Zaalishvili V.B. Assessment of seismic hazard territory. Earthquake Engineering. Published by InTech. Edited Halil Sezen, 2012, P. 25-64.

SEISMIC RISK ASSESSMENT OF URBANIZED TERRITORY

© 2014 V.B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., B.V. Dzeranov, Sc. Candidate (Geol.), L.N. Nevsky, I.G. Arkhireeva

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

Based on accounting all factors: seismic hazard, vulnerability of buildings a method of seismic risk assessment and prognosis of seismic risk is developed. Using the developed methodology the seismic risk assessment of Vladikavkaz city is performed, this allowed to identify the most seismically vulnerable areas.

Keywords: seismic risk, building stock, vulnerability, losses.

УДК 550.810

РЕСУРСНАЯ БАЗА УВ СЫРЬЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

© 2014 И.А. Керимов^{1,2,3}, А.А. Даукаев^{1,3}, Т.Х. Бачаева³

¹Академия наук Чеченской Республики, 364024, Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т им. М. Эсамбаева, 13, e-mail: academy_chr@mail.ru

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123995, ГСП-5, Москва Д-242, Б. Грузинская ул., 10, стр. 1, E-mail: direction@ifz.ru

³КНИИ им. Х.И. Ибрагимова РАН, Почтовый адрес: 364051, Россия, Чеченская Республика, г. Грозный, Старопромысловское шоссе, 21а, e-mail: kniiran@mail.ru

В статье анализируется современное состояние и пути восполнения ресурсной базы Чеченской Республики. Приводятся сведения о запасах и ресурсах нефти и газа по состоянию 1.01.2012 г. и даны рекомендации по дальнейшему освоению региона.

Ключевые слова: ресурсы, запасы, нефть, газ, углеводородное сырье.

Восточное Предкавказье является одним из старейших регионов нефтегазодобычи, который славился высококачественной нефтью, имеющей большой спрос на мировом рынке. Период промышленной добычи нефти подразделяется на ряд этапов, отличающихся по методам и методике, объемам и объектам геологоразведочных работ (ГРП) и добычи нефти, по степени охвата территории геолого-геофизическими работами: дореволюционный, 1920-1940-е гг., 1950-1999-е гг. и с 2000 г. – современный.

В нефтегазогеологическом отношении рассматриваемая территория включает Терско-Сунженский (Чеченская Республика, Ингушетия, Северная Осетия, Кабардино-Балкария), Терско-Кумский (Равнинный Дагестан и часть Ставрополя) нефтегазоносные районы и район Предгорного Дагестан (НГР). Освоение данной территории началось еще в конце XIX в. колодезной добычей и установлением залежей нефти в караган-чокракских отложениях миоцена (неогеновая система). Ниже дается современное состояние ресурсной базы УВ-сырья по республикам Северного Кавказа (табл.).

По Республике Дагестан открыто более 40 месторождений. Степень разведанности начальных суммарных ресурсов на 1.01.2013 год составляет 42%, выработанность разведанных запасов – 85%, перспективные ресурсы учтены в количестве 30 млн. т. по 21 площади, подготовленных к бурению и по невоскрытым пластам 4 месторождений [Мирзоев, Шарафутдинов, 1986].

По Чеченской Республике открыто 22 месторождения. Степень разведанности начальных суммарных ресурсов на 1.01.2013 год составляет 76,1%, выработанность разведанных запасов – 96%. Перспективные ресурсы учтены в количестве 15,7 млн. т. – по 6 площадям подготовленных к бурению и по невоскрытым пластам 2 месторождений [Ямалханов и др., 2012]

Таблица

Структура запасов и ресурсов нефти и газа по республикам Северного Кавказа (по данным из Гос. баланса запасов полезных ископаемых РФ)

Регион	УВ – сырье	Добыча с начала разра- ботки, на дату 01.01.2013 г.	Запасы, млн.т.		Степень вырабо- танности разве- данных запасо	Ресурсы С ₃	Ресурсы Д ₁ +Д ₂	Степень раз- веданности суммарных ресурсов, %	
			АВС ₁	В, %С ₂				началь- ных	теку- щих
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Республика Дагестан	нефть, млн.т.	42,3	7,5	3,6	84,8	30,2	36,05	41,6	9,7
	газ, млр.м ³	29,4	55,06	54,9	34,8	148,4	104,2	21,5	15,2
Чеченская Республика	нефть, млн.т.	331,9	13,5	4,7	96,08	15,7	87,8	76,1	11,1
	газ, млр.м ³	2,5	3,7	17,8	40,3	9,5	21,6	11,4	7,1
Республика Ингушетия	нефть, млн.т.	106,4	7,6	3,4	93,3	10,9	19,3	77,3	18,6
	газ, млр.м ³	-	0,08	-	-	-	-	-	-
Республика Северная Осетия-Алания	нефть, млн.т.	0,06	3,4	-	1,8	13,4	18,5	9,7	9,6
	газ, млр.м ³	0,8	-	-	-	-	-	-	-
Кабардино- Балкарская Республика	нефть, млн.т.	3,7	7,2	0,07	34,3	3,3	27,1	19,5	13,7
	газ, млр.м ³	-	1,5	0,005	-	-	-	-	-
Итого	нефть, млн.т.	484,4	39,2	11,8	62,1	73,5	188,7	44,8	12,5
	газ, млр.м ³	32,7	60,3	72,7	37,5	157,9	125,8	16,45	11,2

По Республике Ингушетия открыто более 6 месторождений. Степень разведанности начальных суммарных ресурсов на 1.01.2013 год составляет 77,3%, выработанность разведанных запасов – 93,3%.

По Республике Северная Осетия-Алания. Степень разведанности начальных суммарных ресурсов на 1.01.2013 год составляет 9,7%, выработанность разведанных запасов – 1,8%.

По Кабардино-Балкарской Республике открыто 6 месторождений. Степень разведанности начальных суммарных ресурсов на 1.01.2013 год составляет 77,3%, выработанность разведанных запасов – 93,3%. Перспективные учтены по трем площадям и не вскрытым пластам одного месторождения.

Промышленная нефтегазоносность в Восточном Предкавказье установлена в стратиграфическом диапазоне от сарматских до пермо-триасовых отложений.

Пермо-триасовый комплекс. Самыми древними породами, образующими бай-

кальский фундамент скифской плиты считаются отложения позднепротерозойского раннекембрийского возраста, литологически представленные биотитовыми гнейсами, серыми сланцами, зеленовато – серыми порфиритами, туфами (Кизивальтер, 1960).

Данными бурения отдельных глубоких скважин и результатами работ МОВЗ установлено присутствие пород рифейско-раннекембрийского возраста, перекрытыми метаморфическими отложениями герцинид в пределах осевой части Терско-Каспийского прогиба.

В пределах Черногогорской моноклинали скважиной, пробуренной в своде Варандийского поднятия, вскрыты карбонатные породы пермского возраста. На северном борту Терско-Каспийского прогиба (ТКП) скважиной № 1 Бурунная вскрыта вулканогенно-осадочная толща пород с мощностью более 1500 м триасового возраста.

В равнинном Дагестане пермо-триасовые отложения вскрыты многочисленными скважинами на глубинах от 3,5 до 5,5 км. Здесь в разрезе доюрского комплекса выделены куманская свита пермской системы, нефтекумская и демьяновская свиты нижнего триаса, анизинский, ладинский ярусы среднего триаса и верхний отдел триаса. Нефтегазоносность связана с нефтекумской свитой и анизийским ярусом.

Нефтекумская свита представлена в основном органогенно-обломочным и доломитизированным известняками и доломитами, характеризующимися резкими изменениями мощностей и литофациального состава [Керимов, 2002, 2011].

Залежи нефти в нефтекумской свите установлены в пределах ряда месторождений: Сухокумская, Восход, Русский хутор, Юбилейное, Южно-Таловское, Кумовское, Озерное, Раздольное, Рифовое и др.

Анизийский ярус сложен глинистыми известняками, доломитами, алевролитами и песчаниками. Породы с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами характеризуются зональным распространением. Нефтегазоносность в основном связана с пачкой известняков средней части яруса (продуктивный пласт).

Вышезалегающие отложения ладинского яруса среднего и верхнего триаса представлены породами с низкоколлекторскими свойствами (аргиллиты, глинистые туфопесчанники и туфоалевролиты).

Юрский комплекс отложений в пределах ТКП представлен всеми тремя отделами. Нижне – среднеюрские (J_{1+2}) отложения, представленные терригенными породами, изучены в основном в южной части ТКП, по естественным обнажениям по р. Терек, Чанты-Аргун и по данным бурения отдельных скважин (площади Басс, Беной, Первомайское и др.). В северной части ТКП (площади Бурунная, Дружба и др.) происходит практически полное выклинивание нижне-среднеюрских отложений. Нефтегазоносность данных отложений на сегодняшний день не установлена.

В отношении нефтегазоносности практический интерес имеют верхнеюрские отложения, представленные оксфордским, киммериджским и титонским ярусами и нижне-среднеюрский комплекс (Дагестан).

Оксфордские отложения, широко развитые в пределах ТКП представлены в основном массивно-слоистыми доломитами и доломитизированными известняками. Средний и верхний подъярус оксфорда (иронская свита) сложены массивными доломитами и слоистыми известняками черного цвета, с мощностью до 735 м. (скв. № 1 Сюреты). В нижней части оксфордского яруса (кионская свита) залегают пачка водорослевых известняков, мощность которых составляет примерно 60 м.

В центральной и южной частях ТКП отмечено развитие мощных толщ рифо-

генных доломитов и известняков. Рифогенные карбонатные постройки выявлены при изучении оксфордских отложений в естественных обнажениях и по результатам бурения на пл. Сюреты, Датых и Первомайское. На временных разрезах по сейсмопрофилям в районе пл. Арак-Далатарек, Заманкул, Ахлово, Харбижин и др. уверенно выделяется отражающий горизонт 1J, приуроченный к кровле оксфордского яруса (подсолевая юра), по которому также выделены рифогенные структуры. Севернее скв. №2 Бурунная и скв. №1 Галюгаевская отражающий горизонт 1J не прослеживается, на основании чего установлена линия выклинивания отложений. По результатам анализа керн «подсолевые» оксфордские отложения представлены массивными и массивно – слоистыми доломитами, известковистыми, среднезернистыми. Пористость насыщения составляет 0,1-7,5%, газопроницаемость $-0,00204-0,00408 \times 10^{-3}$ мкм², карбонатность – 97%, вторичная пустотность – 10-12%, тип коллектора трещинно-каверново-пористый. Породы оксфордского возраста (подсолевые отложения) несогласно перекрываются отложениями гандалбосской и балтинской свит, представленными сульфатно-галогенными и карбонатными породами киммеридж-позднетитонского возраста (солевая юра).

По принятой вспомогательной схеме гандалбосская свита расчленяется на три части: «верхняя солевая юра», «межсолевая юра» и «нижняя солевая юра».

Отложения «нижней и верхней солевой юры» являются флюидоупорами регионального типа для подстилающих отложений оксфорда («подсолевая юра») и «межсолевой юры», соответственно. Отложения «нижней и верхней солевой юры» сложены гипсами, галитами и ангидритами. Толщина «нижней солевой юры» изменяется от 100 м (на севере) до 830 м (на юге). Толщина «верхней солевой юры» изменяется от 80 м на севере (площадь Буруны) до 273 м на юге (пл. Датых).

Отложения межсолевой юры, с которыми связывают определенные перспективы открытия залежей нефти и газа на данной территории, представлены спикуловыми известняками и доломитами. Известняки – слабоалевролитовые, органогенные, микрозернистые. Толщина отложений около 250 м (пл. Карабулак-Ачалуки). Тип коллектора трещинно – поровый. Вторичная пористость достигает 2-3%. Открытая пористость изменяется от 1,1 до 4,9%, газопроницаемость $-2,5 \times 10^{-18} \div 6,5 \times 10^{-17}$.

О хороших коллекторских свойствах пород «межсолевой юры» свидетельствует получение притоков нефти и воды в скв. №1 Датых, притоков пластовой воды скв. №1 Басс, скв. №25 Варанды, скв. №40 Элистанжи. Наиболее изученными являются позднеитонские отложения верхней юры (надсолевые отложения), сложенные органогенными известняками, доломитами и карбонатными брекчиями. Толщина отложений составляет 100-200 м. «Надсолевые» отложения характеризуются хорошими коллекторскими свойствами, особенно на пл. Харбижин, Заманкул, Малгобек – Вознесенская, где открытая пористость достигает до 22,1%. Газопроницаемость составляет $0,24 \times 10^{-15}$ м² [Геология нефтяных месторождений..., 2010; Геология и перспективы..., 2010]. Тип коллектора трещинно – поровый. Промышленная нефтегазоносность «надсолевых» верхнеюрских отложений доказана на пл. Заманкул, Харбижин, Арак – Далатарек и Ахлово.

Нижне-среднеюрский комплекс на территории Дагестана в целом сложен мощной толщей терригенных пород. Отложения нижней юры, представленные глинистыми сланцами выходят на поверхность и обнажаются в районе главного Кавказского хребта. Они частично были вскрыты мугринской параметрической скважиной.

Среднеюрские отложения сложены песчано-алевролитоглинистыми породами. По литологическому составу нижне-среднеюрский комплекс расчленяется на олениковскую, промысловскую, джанайскую и артезианскую свиты, каждая из которых в свою очередь подразделяется на пачки: IV, VI, VIII, IX и базальная. Все перечисленные пачки, за исключением IX, являются регионально нефтегазоносными на территории Дагестана.

Нижнемеловые отложения широко развиты в пределах западной части ТКП и вскрыты на полную толщину значительным количеством скважин. Разрез нижнего мела представлен мощной толщей терригенных пород, за исключением валанжинского яруса, сложенного карбонатными породами. Толщина нижнего мела изменяется в широких пределах, достигая 1700 м в районе Беслановской впадины. На северных склонах Черногорской моноклинали и платформенного борта ТКП происходит региональное выклинивание нижнемеловых отложений. Нижнемеловой комплекс представлен всеми ярусами общепринятой стратиграфической шкалы и 12 свитами местной шкалы. Нефтегазоносность преимущественно связана с барремскими и альб-аптскими отложениями. Нефтегазоносность баррема установлена на Горячеисточненской и Заманкульской площадях.

Аптские отложения характеризуются региональной нефтегазоносностью в пределах всей Терско-Сунженской нефтегазоносной области (ТСНО). На Ханкальской площади открыта залежь газа в аптских отложениях. Нефтяные залежи установлены на площадях Брагуны, Горячеисточненская, Хаян – Корт, Эльдарово, Старогрозненская, Октябрьская, Малгобек-Вознесенская, Ахлово, Карабулак, Ачалуки. В отложениях альба залежь нефти открыта на Горячеисточненской площади.

Верхнемеловые отложения вскрыты значительным количеством скважин в пределах антиклинальных зон, а в полосе Черных гор они изучены отдельными скважинами (пл. Беной, пл. Датых и др.) и в естественных обнажениях. Верхнемеловой комплекс представлен всеми ярусами. В литологическом отношении они представлены, различными типами известняков, с прослойками глин и мергелей. Четких границ между отдельными ярусами не отмечаются. Границы кровли и подошвы верхнего мела четко отбиваются по данным ГИС. Общая толщина верхнего мелового комплекса отложений составляет 200-500 м.

Глубина залегания кровли верхнего мела увеличивается с запада на восток от 2200 м до 5000 м в пределах антиклинальных зон и до 7000 м в синклинальных зонах. В практике геологопромысловых работ в разрезе верхнего мела выделяются шесть пачек коллекторов. Ёмкостно-фильтрационные свойства карбонатной толщи верхнего мела обусловлены, в основном, широко развитой вторичной пустотностью. Повышенной трещиноватостью характеризуется обычно сводовые части структур и перегибы от присводовой части к крыльям складок. В зоне разрывных нарушений в разрезе верхнемеловых отложений на отдельных площадях (Червленая и др.) установлены зоны деструкций пород, характеризующиеся улучшенными коллекторскими свойствами.

Верхнемеловой комплекс отложений характеризуется региональной нефтегазоносностью. Залежи нефти и газа установлены, практически, во всех структурно-тектонических зонах ТКП (Терская, Сунженская антиклинальные зоны, Бенойская зона дислокаций, Петропавловская и Алханчуртская синклинальные зоны), а также в погребенных структурах прибортовых зон. Высота отдельных залежей достигает более 1000 м. Перспективы открытия новых залежей нефти и газа в верхнемеловых

отложениях связаны как со структурными ловушками в прибортовых и синклинальных зонах, так и с ловушками неструктурного или комбинированного типов.

В тектоническом отношении рассматриваемый район охватывает западную часть ТКП, в центре которой располагаются Терская и Сунженская антиклинальные зоны. Современное расположение последних совпадает с шовными зонами, разделяющими мобильные зоны земной коры. По мнению ряда исследователей, определенную роль в механизме образования структуры осадочного чехла сыграло чередование длительных фаз проявления тангенциальных сил сжатия с кратковременными периодами растяжения в соответствии с гипотезами пульсации Земли (Бачера, Обручева и др.).

Палеоген-неогеновый комплекс. Он включает в себя миоценовые и плиоценовые отложения. Промышленная нефтегазоносность на данной территории связана только со средне – миоценовыми отложениями (карагана и чокрака). В целом, разрез миоценовых отложений представлен верхнемайкопской серией (нижний миоцен), тарханским, чокракским, караганским и конским регионарусам (средний миоцен), сарматским и мэотическим ярусам.

Отложения тарханского горизонта представлены, в основном мергелями с небольшой толщиной (до 1,2 м) и характерной руководящей фауной. Горизонт служит репером при сопоставлении разрезов по скважинам. Чокракский горизонт представлен чередованием мощных пластов песчаников и глин с редкими прослоями мергелей и глинистых сидеритов. По литологическому признаку чокракская толща подразделяется на две части: глинистую – нижнюю и песчаную – верхнюю.

Структура начальных сырьевых ресурсов УВ-сырья в целом по Восточному Предкавказью, свидетельствует о том, что как по нефти, так и по газу суммарные объемы ресурсов превышают суммарные запасы более чем в 3 раза. Такое соотношение предопределяет необходимость проведения дальнейших ГРП с целью выявления новых УВ-объектов (рис. 1, 2).

Ожидать в перспективе существенного изменения структуры запасов за счет перевода запасов категории C_2 разрабатываемых и разведываемых месторождений в более высокие категории не приходится. Активный перевод ресурсов категории C_3 в запасы имеющегося фонда и вновь подготавливаемых из прогнозных ресурсов – единственная возможность для воспроизводства сырьевой базы УВС и обеспеченности дальнейшей добычи. В настоящее время прирост запасов фактически отсутствует.

Стабильное развитие нефтегазового комплекса возможно только при постоянном воспроизводстве ресурсной базы отрасли, как за счет увеличения нефтеотдачи пластов с использованием вторичных методов, доразведки месторождений, так и за счет проведения ГРП на данной территории.

Мировой опыт свидетельствует о том, что на современном этапе, в усложненных условиях (сложно-экранированные ловушки, увеличение глубины залегания поисковых объектов, уменьшение их размеров) эффективное ведение ГРП на УВ-сырья и освоение месторождений невозможно без значительных затрат на развитие научных и тематических исследований, и комплексной переинтерпретации огромного массива накопленных материалов с использованием новейших методов, методик и компьютерных технологий. Необходимы новые подходы к прогнозированию перспективы нефтегазоносных территорий, к поискам и разведки скоплений УВ, основанные на современных теориях, концепций – геодинамическая концепция нефтегазообразования [Гаврилов, 2003; Масленникова, Керимов, 1988] и т. д.

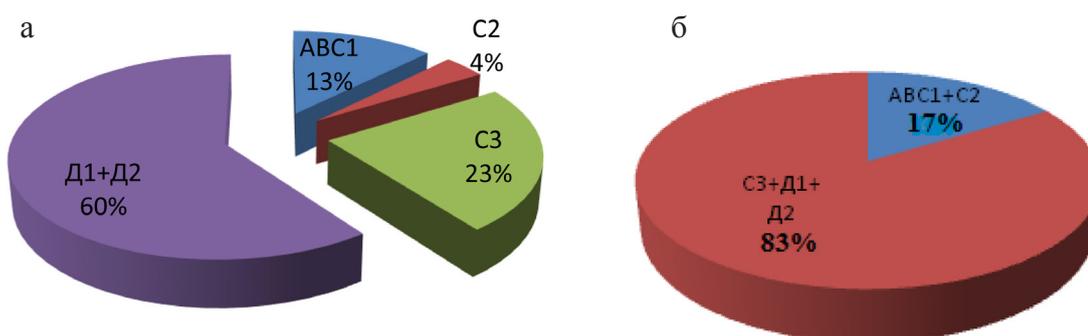


Рис. 1. Структура запасов и ресурсов нефти республик Северного Кавказа (а) и их суммарное соотношение (б)

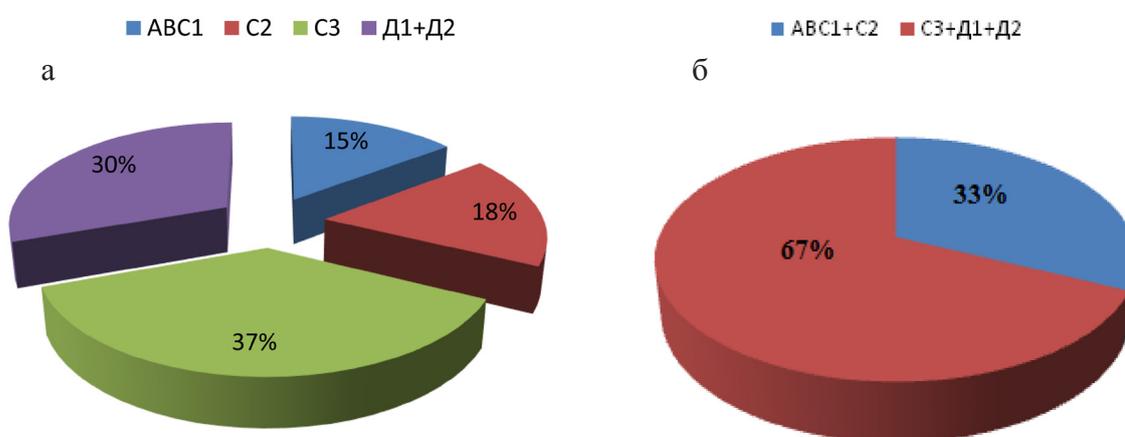


Рис. 2. Структура запасов и ресурсов газа республик Северного Кавказа (а) и их суммарное соотношение (б)

Исходя из этого необходимо:

- Дальнейшие научные разработки по изучению условий образования и миграции нефти, закономерности их размещения скоплений УВ на данной территории, совершенствования методики поисков и разведки нефти и газа в сложных условиях.
- Создание компьютеризованного банка данных для сохранения геолого-геофизической и промысловой информации и использование её при комплексном анализе и переинтерпретации фактических материалов.
- Комплексный анализ выявленных в результате ранее проведенных ГРР, обобщение геолого-геофизических материалов и НИИ работ геологических объектов, ранжирование их по степени перспективности и очередности ввода в бурение.
- Оценка перспектив нефтегазоносности на основе новых концепций недробразования в недрах Земли.
- Кратко и долгосрочное планирование, проектирование поисков, разведки и разработки месторождений и авторский надзор за проектированными работами.
- Геолого-экономический анализ сырьевой базы с подсчетом и переоценкой запасов и ресурсов нефти и газа.

Тезис о высокой степени изученности рассматриваемой территории геолого-геофизическими работами и бурением не совсем корректен, когда здесь имеются целые тектонические зоны (Чеченская впадина) и стратиграфические комплексы,

характеризующиеся слабой изученностью (валанжин-верхнеюрской) и практически неисследованные (пермо-триас) [Геология нефтяных месторождений..., 2010; Геология и перспективы..., 2010; Керимов, 2010а; 2010б].

Ниже рассматриваются основные направления расширения ресурсной базы по отдельным тектоническим зонам региона.

Терско-Сунженский нефтегазоносный район. Синклинальные зоны (Петропавловская впадина и др.). Внедрение сейсморазведки МОВ в модификации ОГТ на данной территории с середины 1970-х годов позволило установить целый ряд погребенных структур в меловых отложениях – Ханкальская, Северо-Октябрьская, Автуринская, Джалкинская, Северо-Джалкинская, Родниковая, Западно-Джалкинская, Северо-Ханкальская, Грозненская и др. В пределах Ханкальской и Северо-Джалкинской структур были установлены залежи нефти в верхнемеловых отложениях и залежь газа в аптских отложениях Ханкальской площади. На некоторых структурах (Джалкинская, Северо-Ханкальская, Родниковая) были получены отрицательные результаты бурения. Перспективы наращивания ресурсной базы в данной зоне связаны с поисками залежей нефти и газа в верхнемеловых отложениях Грозненской, Северо-Октябрьской и других перспективных структур, доразведкой верхнемеловой залежи Северо-Джалкинского месторождения.

Синклинальные зоны перспективны также и для поисков залежей нефти и газа, связанных с литологическим выклиниванием чокракских песчаных пластов в сторону восстания их. Так в пределах северного борта Петропавловской впадины по данным бурения и материалов сейсморазведки была околонулена зона выклинивания чокракских отложений. В пределах южного крыла Петропавловской впадины (площадь Гойт-Корт) доказана промышленная нефтеносность отложений чокрака. Определенные перспективы в плане обнаружения залежей углеводородов, связанных с литологическим выклиниванием чокракских отложений, имеет также район южного борта Шалинской синклинали. В синклинальных зонах имеются более благоприятные поверхностные сейсмогеологические условия для проведения сейсморазведочных работ 2Д и 3Д. Сейсморазведочные работы необходимо проводить с задачами изучения структурных особенностей, условий литологического выклинивания меловых и чокракских отложений. При этом следует по возможности применять новые высокоразрешающие методы сейсморазведки – пространственная сейсморазведка МОВОГТ с задачами прогнозирования геологического разреза и др.

В 2013 году проведены комплексные геолого-геофизические исследования синклинальных зон Терско-Каспийского прогиба в пределах Чеченской Республики с целью обоснования приоритетных направлений по воспроизводству ресурсной базы УВ и выделения первоочередных объектов лицензирования [Керимов, 1990; 2002; Перспективы..., 2012]. В результате проведенных работ уточнено геологическое строение участка работ и структурные планы региональных нефтегазоносных комплексов. Выявлены ряд перспективных объектов на нефть и газ в мезозойских отложениях и обоснованы участки недр под лицензирования и точки заложения глубокого бурения.

Притеречная зона. В Притеречной тектонической зоне открыты залежи нефти в верхнемеловых и аптских отложениях в пределах Правобережного месторождения и верхнемеловая залежь на Червленском месторождении. Структурный план Правобережного месторождения по кровле верхнего мела (по данным переинтерпретации сейсмических материалов) характеризуется сложным блоковым строением. В преде-

лах месторождения фиксируются две самостоятельные антиклинали разделенных в свою очередь разрывными нарушениями на ряд блоков. В пределах месторождения есть блоки неопределенные бурением в плане нефтегазоносности. Вблизи Червленского месторождения отмечается ряд самостоятельных структур небольших размеров (Южно-Червленная, Западно-Червленная и др.) неопределенных бурением. Как известно, на основе анализа особенностей сейсмозаписей в пределах интервала верхнемеловых отложений были выделены зоны деструкции (повышенной трещиноватости) в присводовой части и на северном крыле Червленской складки, с которой и связана залежь нефти. Аналогичная зона прогнозируется и в пределах Южно-Червленной структуры. Определенные перспективы нефтегазоносности можно связывать также с сарматскими отложениями в условиях их клиноформного залегания и зонами выклинивания верхнеюрских отложений на северном борту ТКП. В последних, на ряде площадей (Ищерская и др.), прогнозируется также наличие рифогенных построек по характерным особенностям сейсмозаписи на временных разрезах.

Таким образом, основные перспективы наращивания ресурсной базы УВ на рассматриваемой части территории связаны с доразведкой отдельных, неохваченных бурением блоков месторождений, поисками залежей нефти и газа в пределах выявленных и подготовленных к бурению структур (Южно-Червленная), выявлением ловушек нефти и газа структурного и неантиклинального типов в миоценовых и мезозойских отложениях. Задачи восполнения ресурсного потенциала необходимо решать проведением региональных и поисково-детальных сейсморазведочных работ в комплексе с бурением отдельных поисковых и разведочных скважин. Места заложения ранее рекомендованных поисковых скважин в пределах отдельных структур необходимо откорректировать с учетом последних структурных построений.

Черногорская тектоническая зона. Данная зона характеризуется наличием поверхностных выходов нефти (Симсирский, Мехкидатенкортовский и др.). Промышленная нефтегазоносность верхнемеловых отложений установлена на Бенойской и Мескетинской площадях. Небольшие залежи нефти в нижнемеловых отложениях (альб-апт, барем, готерив) открыты в пределах Датыхской площади. На этой же площади доказана газоносность верхнеюрских подсолевых отложений. Сейсморазведочными работами, проведенными в 80-х годах, здесь было выявлено значительное количество локальных поднятий и структурных осложнений. Отдельные структуры были подготовлены к глубокому бурению с выдачей рекомендаций на заложение поисковых скважин (Ножай-Юртовская, Северо-Ножай-Юртовская, Саясановская, Северо-Саясановская и др.). Как отмечалось выше, в результате переинтерпретации сейсмических материалов в 2004-2006 гг. (В. А. Лохматова, г. Краснодар), было уточнено строение ранее выделенных структур и установлен ряд новых перспективных объектов в основном в виде блокантиклиналей. На основе научного анализа и обобщений имеющих фактических геолого-геофизических материалов и данных бурения специалистами «СевКавгеопрот» (г. Ессентуки) в нижнечокракских отложениях был выделен ряд перспективных объектов неструктурного типа. Дальнейшие перспективы в данной зоне связываются с доразведкой Мескетинского месторождения (западный блок), поисками залежей нефти и газа в пределах упомянутых перспективных объектов и выявлением новых. Проведение кондиционной сейсморазведки с целью подготовки перспективных объектов к глубокому бурению в этой зоне практически невозможно из-за сложных поверхностных условий. Поэтому изучение геологического строения и нефтегазоносности данного района необходимо

проводить комплексом методов включающих сейсморазведку, аэрометоды, структурное и глубокое бурение.

Сулакская впадина ТКП. Здесь развиты практически все региональные нефтегазоносные горизонты ТКП, но не все они доступны к изучению из-за больших глубин. В связи с этим перспективы нефтегазового освоения связывают в основном с верхнемеловыми и миоценовыми отложениями в которых могут быть выявлены ловушки нефти и газа структурного и литологического типа.

Терско-Кумский нефтегазоносный район. Главным направлением ГРП на нефть и газ здесь является триасовый. В нефтекумской свите нижнего триаса и анизийском ярусе среднего триаса открыто более 20 залежей нефти и газа. Основными задачами дальнейших работ по этому направлению является:

Выявление погребенных структур в пределах Восточно-Манычского прогиба и Прикумской зоны поднятий; поиски новых залежей нефти и газа на подготовленных в бурении структурах, разведка и доразведка месторождений. Первоочередными объектами являются зоны развития рифогенных построек в нижнем триасе. Определенные перспективы связывают с мел-юрскими отложениями. К основным задачам по этому направлению относятся доразведка существующих месторождений и поиски новых залежей связанных с ловушками не структурного типа. В связи с ограниченными размерами структурного типа поисково-разведочные работы в их пределах следует проводить только после расчетов рентабельности ввода их в бурение. Немаловажное интерес представляет результаты прямого прогнозирования УВ залежей юрско-нижнемеловых отложений, выполненного еще в середине 80-х годов группой ПГР треста «Грознефтегеофизика», представленные целым рядом аномалиями волнового поля. Продолжение подобных работ позволит существенно повысить эффективность ГРП по данному направлению [Новые подходы..., 2011].

Примерно, в середине 80-х годов проводились также тематические работы по пересмотру сейсмических материалов по палеоген-неогеновому направлению с задачами изучения их геологического строения на основе сейсмостратиграфического анализа. С целью установления зон развития неантиклинальных ловушек в пределах равнинного Дагестана. В результате этих работ были выявлены перспективные геологические объекты в виде линз песчаников и клиноформных образований в майкопских и миоценовых отложениях, а также зон фациальных замещений литологических слоев в сарматских и мэотических отложениях. Данное направление не потеряло актуальность до сегодняшнего дня.

Нефтегазоносный район Предгорного Дагестана. Основным направлением ГРП здесь являются верхнемеловые отложения. В настоящее время в верхнемеловых отложениях сейсморазведкой выявлены более десяти структур, в пределах которых открыты ряд залежей нефти и газоконденсата (Димитровская, Новолакская, Махачкала-Таркинская, Шамхалбулакская и др.). Основными задачами ГРП на верхнемеловые отложения являются поиски новых поднятий и залежей нефти и газа в пределах ранее выявленных структур Чапаевской, Сафаралинской, Алмало и др.; разведка и доразведка существующих месторождений; дальнейшее изучение регионального строения верхнемелового комплекса. ГРП на юрско-нижнемеловые отложения следует направлять на выявления новых нефтегазоперспективных структур в пределах Нараттюбинской складчатой и Акташ-Аксайской депрессионной зон и на поиски залежей нефти и газа в пределах подготовленных к бурению локальных поднятий и невоскрытых горизонтах месторождений.

Литература

1. Гаврилов В.П. Геодинамическая (миксгенетическая) концепция генезиса углеводородов. Генезис нефти и газа. М.: Изд-во Геос., 2003.
2. Геология нефтяных месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. Справочник / И. А. Керимов, З.Г. Борисенко, А. А. Даукаев и др. Грозный: АН ЧР, 2010. 254 с.
3. Геология и перспективы нефтегазоносности Чечни и Ингушетии / И. А. Керимов, З.Г. Борисенко, А. А. Даукаев и др. Грозный: АН ЧР, 2010. 298 с.
4. Керимов И.А. Прогнозирование структурных особенностей глубокопогруженных горизонтов Терско-Каспийского прогиба по данным гравиразведки и сейсморазведки // Изв. вузов. Нефть и газ, 1990, № 11. С.24-30.
5. Керимов И. А. Применение гравиразведки и сейсморазведки для поисков рифовых ловушек нефти и газа в юрских отложениях Терско-Каспийского прогиба // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. акад. М.Д. Миллионщикова. Вып. 2. Грозный, 2002. С.51-67.
6. Керимов И.А. Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. М.: Физматлит, 2011. 264 с.
7. Керимов И.А., Даукаев А.А., Бачаева Т.Х. Современное состояние и перспективы воспроизводства ресурсной базы нефтегазовой отрасли Чеченской Республики // Межрегиональный Пагуошский симпозиум «Наука и высшая школа Чеченской Республики: перспективы развития межрегионального и международного научно-технического сотрудничества. Тезисы докладов. Грозный: АН ЧР, 2010а. С. 212-214.
8. Керимов И. А., Даукаев А. А., Бачаева Т.Х. Структура запасов нефти и газа и резервы восполнения ресурсного потенциала Чеченской республики // Фундаментальные проблемы пространственного развития Юга России: междисциплинарный синтез. Тезисы Всероссийской научной конференции (28-29 сентября 2010 г., Ростов-на-Дону) / Отв. ред. Г.Г. Матишов. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2010б. – 400 с.
9. Масленникова Г.В., Керимов И. А. Гравиметрические и литолого-фациальные предпосылки поисков неантиклинальных ловушек УВ в Западном Предкавказье // Геология нефти и газа, 1988, № 12. С.-33-36.
10. Мирзоев Д.А., Шарафутдинов Ф.Г. Геология месторождений нефти и газа Дагестана. Махачкала: Дагкнигиздат, 1986. 312 с.
11. Новые подходы к решению проблемы роста ресурсной базы УВ-сырья / И.Е. Варшавская, Ю.А. Волож, А.Н. Дмитриевский, Ю.Г. Леонов и др. // Геология нефти и газа, 2011. №2. С. 2-13.
12. Перспективы поисков нефти и газа в юрском комплексе Предкавказья / Б.Л. Александров, И.А. Керимов, М. А Хасанов и др. // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2012. №3 (32). С. 61-65.
13. Ямалханов И.А., Висмурадов А.В., Керимов И.А. Минерально-сырьевая база ЧР: ее состояние, проблемы и перспективы развития // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы 2 Всероссийской научно-технической конференции. Грозный: АН ЧР, 2012. С. 73-90.

RESOURCE BASE OF RAW UV MATERIAL AND PROSPECT FOR THE OIL AND GAS-BEARING CAPACITY OF EASTERN CISCAUCASIA

© 2014 I.A. Kerimov^{1,2,3}, A.A. Daukaev^{1,3}, T.H. Bachaeva³

¹Akademy of Sciences of the Chechen republic, 13, M. Esambaeva st., Groznyy,
Chechen republic, 364024, e-mail: academy_chr@mail.ru

²IPE RAS, Build. 1, № 10, B. Gruzinskaya st., Moscow D –242, GSP-510, 123995,
e-mail: direction@ifz.ru

³KNII RAS, 21a, Staropromyslovskoe st., Groznyy, Chechen republic, 364051, Russia,
364051, e-mail: kniiran@mail.ru

The paper analyzes the current status and the way to fill the resource base of the Chechen Republic. The information on the reserves and resources of oil and gas reserves as of 01.01.2012, and made recommendations for the further development of the region.

Keywords: resources, reserves of oil, gas, hydrocarbons.

УДК 550.4: 553.491.8

ПРОЯВЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЛАТИНОНОСНЫХ ГИПЕРБАЗИТОВ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЯХ Ni, Cr И Co НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПЕРЕДОВОГО ХРЕБТА (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

© 2014 С.Г. Парада, д.г.-м.н., В.В. Столяров, М.Ю. Маркин, к.г.-м.н.,
И.Ю. Шишкалов, к.г.-м.н.

Институт аридных зон Южного научного центра РАН, Россия, 344006,
Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41; e-mail: parada@ssc-ras.ru

Показано, что гипербазиты минерагенической зоны Передового хребта обладают геохимическими и минералогическими признаками платиноносности. Для оценки степени распространенности потенциально платиноносных гипербазитов проведена ГИС-обработка массива геохимических данных, полученных в результате детальной металлометрической съемки ее восточной части Передового хребта. Установлено, что потенциально платиноносные гипербазиты, развитые в форме малых интрузивных тел, и развитые по ним метасоматиты отражаются во вторичных ореолах рассеяния геохимическими аномалиями Ni, Cr и Co, что позволяет по этому признаку локализовать площади для постановки дорогостоящих поисковых работ на металлы платиновой группы.

Ключевые слова: гипербазиты, платиноносность, геохимическая съемка, вторичные ореолы рассеяния Ni, Cr, Co, Тырныаузское рудное поле.

Введение

Как показано в работах [Парада, 2009; Парада, Маркин и др., 2011а] минерагеническая зона Передового хребта Северного Кавказа может представлять собой потенциально платиноносную провинцию, в пределах которой возможно выявление объектов платинометального оруденения, связанных, прежде всего, с телами ультраосновных магматических пород. По одному из таких тел, – Беденскому серпентинитовому массиву в западной части Передового хребта, химико-аналитическими и минералогическими методами установлена платиноносность коренных аподунитовых серпентинитов и продуктов их экзогенного разрушения [Парада, Маркин и др. 2011б; Парада и др., 2014]. Ранее в аллювии р. Большая Лаба, дренирующей названный массив, были обнаружены минералы платиновой группы [Богуш, Рябов, 2011]. Платиноносность гипербазитов установлена нами и в восточной части Передового хребта, включающей северный фланг Тырныаузского рудного поля [Парада, Столяров, 2013], что позволяет сделать вывод о реальных перспективах платиноносности гипербазитов всей минерагенической зоны Передового хребта.

В пределах этой территории, где силами ООО «Каббалкгеология» в 2010-2012 гг. проводились поисковые работы на золото, выявлены отдельные тела гипербазитов, сложенные, в основном, серпентинитами. Они вскрыты в некоторых горных выработках в пределах золотоносной Зыгыркольской зоны, где представлены дайками, силлами и штоками, часто гидротермально измененными до лиственитов и кварц-карбонатных пород. В одном из линзовидных тел гипербазитов, сложенных, в основном, серпентинитами с реликтами пироксенитов, по результатам химико-

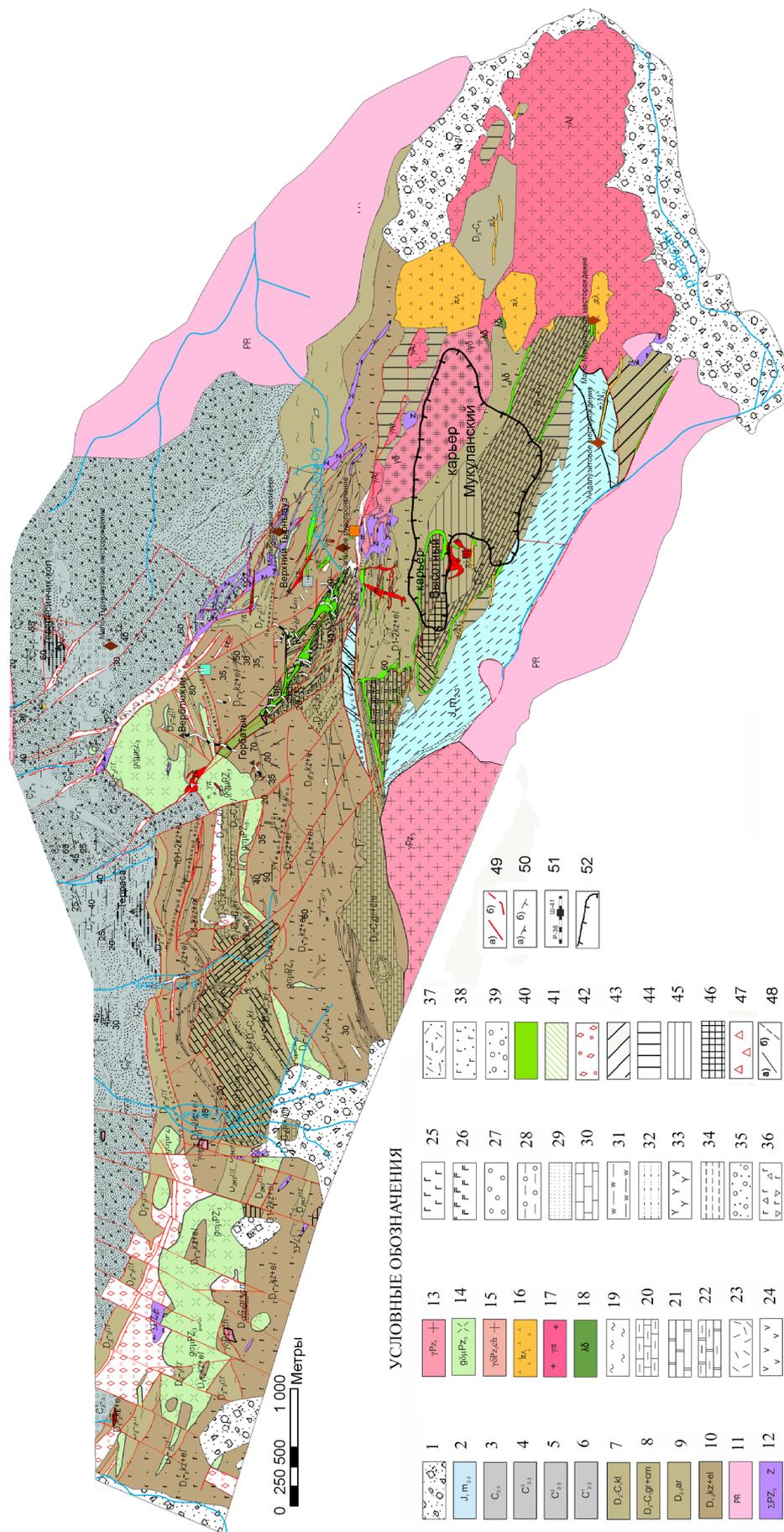


Рис. 1. Геологическая карта восточной части минерагенической зоны Передового хребта, включая Тырныузское рудное поле. Составлена авторами по результатам геологических работ ООО «Каббалгеология» 2010-2012 гг., данным А. В. Пэка [1962] и др.

1 – четвертичные отложения; 2-мукуланская свита, глинистые сланцы, алевролиты, песчаники, известняки; 3 – средне-верхнекаменноугольные отложения нерасчлененные; 4 – третья толща, конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты; 5 – вторая толща, эффузивы, алевролиты, сланцы; 6 – первая толща, конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты; 7 – колсуйская свита, переслаивание сланцев глинисто – алевролитистых, известняков, конгломератов, туфов; 8-чимулярская и гаралькайская свиты нерасчлененные, известняки, переслаивание кварцевых песчаников и алевролитов с прослоями сланцев; 9 – артыкчатская свита, филлиты, лавы и туфы; 10 – кызылкольская и эльмезтюбинская свиты нерасчлененные, андезитовые порфириды, кремнистые сланцы, туфо и лавобрекчи; 11 – протерозой, чегемская свита, кристаллические сланцы; 12 – серпентиниты 13 – двуслюдяные граниты (Главного хребта); 14-15 Чучкурский магматический комплекс: 14 – кварцевые диорит-порфиры; 15 – гранодиориты. 16-17 Тырныаузский магматический комплекс: 16-липариты; 17 – фельзиты и аплитовидные граниты; 18 – спессартиты; 19 – филлиты; 20 – мергели; 21 – мраморы и мраморизованные известняки; 22 – полосчатые мраморы (по мергелям); 23 – кварцевые альбитофиры; 24 – дацитовые порфириды (кварцевые); 25 – андезитовые порфириды (плагиоклазовые пироксен-плагиоклазовые); 26 – авгитовые порфириды; 27 – конгломераты; 28 – гравелиты; 29 – песчаники; 30 – известняки; 31 – кремнистые сланцы; 32 – алевролиты; 33 – подушечные лавы (спилиты); 34 – аргиллиты (глинистые, углесто-глинистые, туфогенно-глинистые сланцы); 35 – конгломераты, аргиллиты; 36 – лавобрекчи среднего состава; 37 – туфы кислого состава; 38 – туфы основного состава; 39 – туфопесчаники; 40 – скарны гранат-пироксеновые с золоторудной минерализацией; 41 – метасоматиты; 42 – кварцево-карбонатные метасоматиты; 43 – биотит-амфиболовые роговики по вулканогенным и туфам; 44 – биотитовые роговики по терригенным породам; 45 – пироксен-плагиоклазовые роговики; 46-участки сложного сочетания роговиков, мраморов и лейкократовых гранитоидов; 47 – милониты; 48 – геологические границы: а) прослеженные б) предполагаемые; 49 – разрывные нарушения: а) прослеженные б) предполагаемые; 50 – элементы залегания: а) слоистости б) сланцеватости, полосчатости; 51 – горные выработки и их номера; 52 – контур карьера

аналитического определения установлены субпромышленные содержания Pt и Pd [Парада, Столяров, 2013]. Суммарное их содержание составило от 0,11 до 0,15 г/т на мощность не менее 7 м. Самородная платина обнаружена и минералогически при изучении аншлифов. Она отмечена в виде гнезд светло-серого цвета с металлическим блеском размером до 1,1 мм. Повышенные содержания Pt и Pd, установленные в коренных породах, надежно отражаются повышенными содержаниями этих элементов в продуктах их экзогенного разрушения. В отобранных в районе описанного рудопроявления из элювиально-делювиальных отложений пробах суммарное содержание Pt и Pd превышает 0,3 г/т, что указывает на возможность проведения поисковых работ на эти металлы геохимическими методами по вторичным ореолам рассеяния. Однако дороговизна химических анализов на Pt и Pd заставляет искать другие возможные способы предварительной оценки платиноносности территории.

Известно, что гипербазиты отличаются изначально высокими содержаниями некоторых химических элементов, в первую очередь Ni, Cr и Co. Следовательно, вторичные ореолы рассеяния в районах развития потенциально платиноносных гипербазитов будут обладать аномальными значениями содержаний перечисленных элементов, что позволит по этому признаку локализовать площади для постановки дорогостоящих поисковых работ на металлы платиновой группы. Вместе с тем перечисленные химические элементы всегда определяются в металлометрических пробах при геохимических поисках любых других металлов и поэтому являются доступными для целевой обработки по площадям, где когда-либо такие поиски проводились. В настоящей статье как раз и осуществлена попытка проверить гипотезу о выраженности тел потенциально платиноносных гипербазитов геохимическими аномалиями Ni, Cr и Co во вторичных ореолах рассеяния на примере хорошо из-

ученной нами потенциально платиноносной территории восточной части Передового хребта, частично представленной северным флангом Тырнаузского рудного поля [Парада, Столяров, 2012; Маркин и др., 2014].

Характеристика объекта исследования

Объектом исследования является восточная часть Передового хребта. В минералогическом отношении восточная половина изучаемой территории представлена северным флангом Тырнаузского рудного поля, к которому с юга примыкает собственно Тырнаузское вольфрам-молибденовое месторождение (рис. 1).

Ультраосновные породы, как уже отмечалось, развиты в пределах исследуемой территории в виде даек, штоков и мелких массивов и приурочены главным образом к крупным субширотным нарушениям сбросо-сдвигового характера, хотя локализируются также в зонах Северного и Центрального разломов и других более мелких широтных нарушений. Размеры тел по протяженности до 100-150 м, мощность до 80 м, отдельные линзы достигают по протяженности 300 м и мощности – 100 м. Некоторые из них хорошо выражены локальными аномалиями магнитного поля [Емкужев и др., 2013].

Неизменные гипербазиты достаточно редки. Они представлены плотными, почти черными перидотитами, состоящими из оливина и ромбического пироксена.

Возможно, как это установлено нами в пределах Беденского серпентинитового массива [Парада и др., 2014], некоторые серпентиниты могут иметь дунитовую природу, так как иногда количество пироксена в породе достаточно низкое, а преобладающим реликтовым минералом является оливин. Практически все выявленные тела гипербазитов в настоящее время представлены серпентинитами. Относительно крупные дайки серпентинитов часто разбиты поперечными нарушениями на отдельные блоки. Более мелкие тела и линзы серпентинитов сопровождают Северный сброс и Хромитовую зону сбросо-сдвигов. Гипербазиты, трассирующие Северный разлом представлены в настоящее время тальк-карбонатными, кварц-карбонатными породами и карбонатизированными серпентинитами [Исаев, 1994].

Серпентиниты, в основном, представляют собой темно-серые до черного и темно-зеленого цвета породы, с массивной или сланцеватой текстурой (рис. 2). Под микроскопом они обнаруживают петельчатую, ячеистую, чешуйчато-листоватую, волнистую микроструктуру. По минеральному составу они, преимущественно, антигоритовые, в меньшей мере хризотилловые и антигорит-хризотилловые. Помимо антигорита и хризотила присутствуют хлорит, зерна бастита, прожилки хризотил-асбеста, карбонаты и реликты моноклиального пироксена (авгита). Из рудных минералов отмечаются пирит, халькопирит, магнезит, хромит, хромшпинелиды (пикотит), пентландит, окислы железа. Среди рудных минералов в составе серпентинитов нами впервые установлена самородная платина [Парада, Столяров, 2013].

Основная масса серпентинитов подверглась лиственитизации. Участки лиственитов образуют линзовидных тела мощностью до 5 м и протяженностью 15-20 м. Это карбонатные или тальк-карбонатные породы с примесью хлорита. Тальк и серпентин образуют желтовато-зеленоватый в проходящем свете агрегат с различным соотношением этих минералов, но отмечаемых в примерно равных количествах. Карбонат характеризуется отчетливо выраженным полосчатым сложением. Так в пределах его развития по структурному признаку можно выделить полосы мелкозернистой пелитоморфной структуры, прерывистые полосы среднезернистой

структуры, в которых средний размер листоватых зёрен карбоната находится в пределах 0,2-0,4 мм. В единичных случаях наблюдается ориентировка зёрен карбоната удлинением параллельно полосчатости. Карбонат слабо замутнён, характеризуется иногда отчётливо проявленной параллельной, и реже ромбоидальной спайностью, двойники не установлены. Погасание его слегка волнистое, форма зёрен неправильная, преобладает листоватая. При максимальной степени переработки серпентинитов образуются кварцево-карбонатные породы [Курдюков и др., 1977] (см. рис. 2).



Рис. 2. Коренное обнажение серпентинита с линзовидным телом кварц-карбонатного метасоматита

Методика

Исследуемая территория была изучена на рудное золото силами ООО «Кавбалкгеология» в 2010-2012 гг. в том числе методом геохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния. Авторы принимали участие в этих работах в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №27. Отбор геохимических проб осуществлялся по предварительно размеченной сети наблюдений 100x20м по стандартной методике [Овчинников, 1983] из элювиально-делювиальных отложений с глубины 0,2-0,4 м. В соответствии с научно-методическими рекомендациями [Григорян, 1975], они пропускались через сито 0,5 мм и истирались до фракции менее 0,075 мм. Содержания химических элементов, в том числе Ni, Co и Cr определялись на стандартном эмиссионном спектрографе способом просыпки в аналитической лаборатории ОАО «Кавказгеосъемка» (г. Ессентуки). Всего отобрано и проанализировано 7182 проб.

По результатам анализа этих проб нами для Ni, Co и Cr сформирована база данных в виде таблицы Microsoft Excel 2010, в которой отображены содержания элементов в весовых процентах и координаты точек отбора проб. С помощью программного пакета Statistica определен закон распределения. Для всех исследуемых элементов установлен логарифмически-нормальный закон распределения, при котором статистические операции следует производить не с содержаниями, а с их логарифмами.

Распространенный способ выделения геохимических аномалий называется правилом «трех сигм» и основан на том, что случайная величина практически полностью (на 99,7%) заключена в пределах от $\bar{z} - 3s$ до $\bar{z} + 3s$. Если значение случайной величины отличается от среднего значения \bar{z} больше чем на $3s$, то оно является аномальным [Григорян, 1975]. Возможно применение и «двух сигм», так как в этом случае 95,4% проб заключено в пределах от $\bar{z} - 2s$ до $\bar{z} + 2s$. Именно при 95% уровня значимости выделялись аномалии химических элементов в настоящей работе. При этом использованы следующие формулы:

$$z = \ln x; \quad (1)$$

$$\bar{z} = \ln \bar{x} - \sigma_z^2 / 2; \quad (2)$$

$$z1 = \bar{z} - 2\sigma_z; \quad (3)$$

$$z2 = \bar{z} + 2\sigma_z; \quad (4)$$

$$x = e^z \quad (5)$$

(e – экспонента), где \bar{x} – фоновое содержание элемента, σ_z^2 – дисперсия выборки натуральных логарифмов и σ_z – стандартное отклонение вычислены с помощью приложения Statistica пакета Microsoft Excel.

В качестве региональных кларковых значений элементов использованы их модальные (наиболее часто встречающиеся) значения. В качестве фоновых принимались все значения, заключенные между аномальным нижним и аномальным верхним значениями содержаний химических элементов (табл. 1).

В соответствии с разработанными ранее приемами [Парада, Холод, Шишкалов 2011] осуществлен ряд процедур, и весь массив данных интегрирован в программу Golden Software Surfer 10. В результате для каждого элемента создана поверхность содержаний методом кригинга на основе полученных пространственных данных (рис. 3). Кригинг используется для построения карт в изолиниях и обеспечивает измерения ошибки или неопределенности поверхности изображаемой изолиниями. С помощью метода кригинга возможно не только получить расчетную поверхность, но также определить значение точности и достоверности расчета, так как в этом методе используется информация из полувариограммы для оценки поверхности в точках, отличных от точек опробования [Силкин, 2008; Golden Software Surfer 10, 2011].

За счет выбора необходимого радиуса поиска, выраженного в расстоянии и числе минимальных точек, отображаются геохимические аномалии выбранных элементов. Для более точного отображения аномалий граничные значения содержаний элемента введены вручную. Совместная обработка и интерпретация геологических и геохимических данных осуществлялась в Arc Map 10.

Таблица 1

Статистические характеристики химических элементов для исследуемой территории

Элемент*	Ni	Cr	Co
Предел обнаружения элемента	0,1	0,1	0,3
Минимальное значение	1	3	1
Максимальное значение	500	600	50
Среднее арифметическое значение	14,16	27,1	3,16
Модальное значение	5	10	2
Дисперсия натурального логарифма	0,65	0,53	0,173
Стандартное отклонение s_z	0,807	0,73	0,416
Нижнее аномальное значение (количество проб с аномальным значением)	0,71 (0)	1,77 (0)	0,79 (0)
Верхнее аномальное значение (количество проб с аномальным значением, в % кол-во проб)	18,06 (16,87%/1212)	32,8 (15%/1072)	4,21 (16,68%/1198)

* содержание элементов в п $\times 10^{-3}\%$

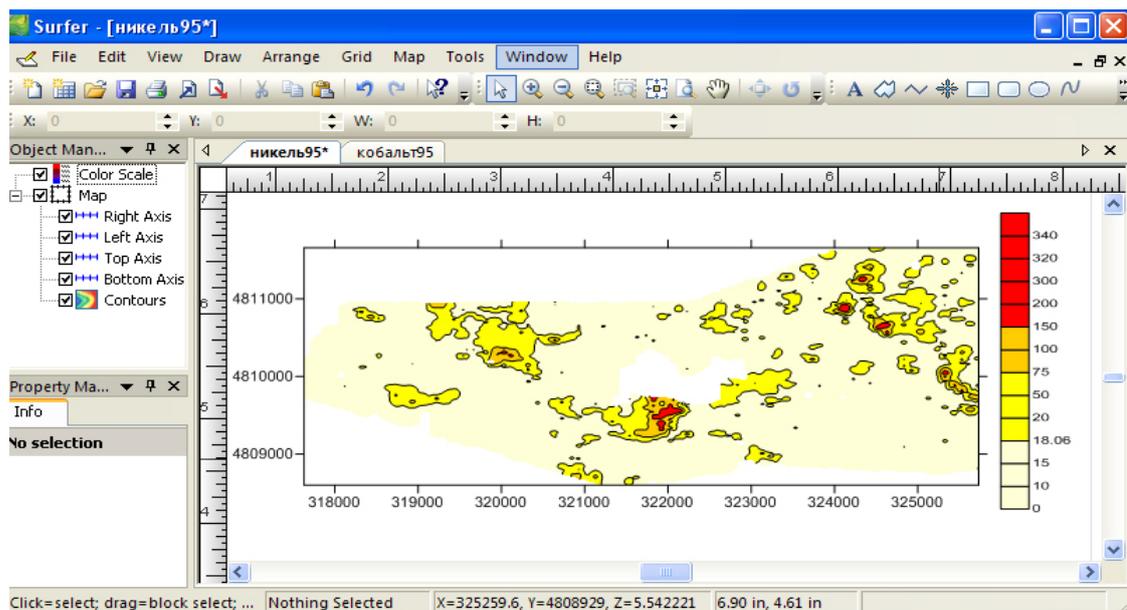


Рис. 3. Пример карты геохимических аномалий никеля во вторичных ореолах рассеяния, отстроенной программным пакетом Golden Software Surfer 10

Результаты и обсуждения

Все три изучаемых химических элемента обнаруживают тесные корреляционные связи между собой (табл. 2). Особенно это относится к хрому и никелю. Корреляционная связь кобальта с названными элементами заметно слабее. Это обуславливает значительное сходство распределения в пространстве геохимических аномалий Ni и Cr и, в меньшей степени Co. Вместе с тем, отмечаются и некоторые присущие только конкретному элементу особенности, охарактеризованные ниже.

Таблица 2

Корреляционная матрица химических элементов во вторичных ореолах рассеяния исследуемой территории

	Кобальт	Никель	Хром
Кобальт	1	-	-
Никель	0,59	1	-
Хром	0,46	0,84	1

Содержания никеля во вторичных ореолах рассеяния колеблются от 0,001 до 0,5%. Модальное значение 0,005% – в три раза меньше среднеарифметического (0,014%) и соответствует кларку земной коры и магматических пород среднего состава, в 2 раза меньше кларка осадочных пород и значительно меньше, чем кларк основных (0,016%) и ультраосновных (0,2%) магматических пород. Нижнее аномальное значение 0,0007%. Верхнее аномальное значение – 0,18%. Таким образом, фоновые содержания Ni колеблются в широких пределах от 0,0007 до 0,18%, что составило 83,1% от общего количества проб. Вся изученная территория в целом обладает повышенным фоном никеля. Это соответствует преобладающему развитию в пределах исследуемой территории вулканических и интрузивных магматических пород среднего состава.

Положительные аномальные значения Ni (0,18% и более) обнаружены в 1212 пробах, что составило 16,9% выборки. Они развиты по всей исследуемой территории, – как в восточной ее части, соответствующей северному флангу Тырныаузского рудного поля, так и в западной, – не испытавшей влияния Тырныаузской рудообразующей системы (рис. 4). Суммарная площадь таких аномалий составляет 2,9 км².

Совершенно очевидна их связь с выходами гипербазитов и развитых по ним лиственитов и кварц-карбонатных метасоматитов. Несколько необычными являются геохимические аномалии никеля в пределах площади развития филлитовидных сланцев и аргиллитов артыкчатской свиты, отнесенной нами к морскому терригенному комплексу.

Ранее доказано [Гончаров и др., 2005; Глазырина, 2006], что эти отложения по вещественному составу относятся к весьма редкому типу, образовавшемуся преимущественно за счет размыва офиолитового комплекса, т. е. несут в себе гипербазитовый петрофонд. Еще один тип геохимических аномалий никеля отмечаются в области развития обломочных пород верхнекаменноугольной моллассы в северной части территории и в ее северо-восточном углу. В этом случае, очевидно, что никелевые аномалии на некоторых участках грубообломочных пород связаны с наличием в них обломков гипербазитов Передового хребта. У южной рамки исследуемой территории часть геохимических аномалий никеля приурочена к прослоям аргиллитов в составе вулканогенной кызылкольской свиты. По этому признаку данные аргиллиты можно отнести к туфогенным разностям.

Содержания хрома во вторичных ореолах рассеяния колеблются от 0,003 до 0,6%. Модальное значение 0,01% – почти в три раза меньше среднеарифметического (0,027%) и соответствует кларку земной коры, осадочных и основных магматических пород, почти на порядок выше кларка средних и кислых магматических пород, и почти на порядок меньше, чем для гипербазитов. Поэтому положительные аномалии Cr, также как и никеля, можно связывать с наличием гипербазитов. Нижнее

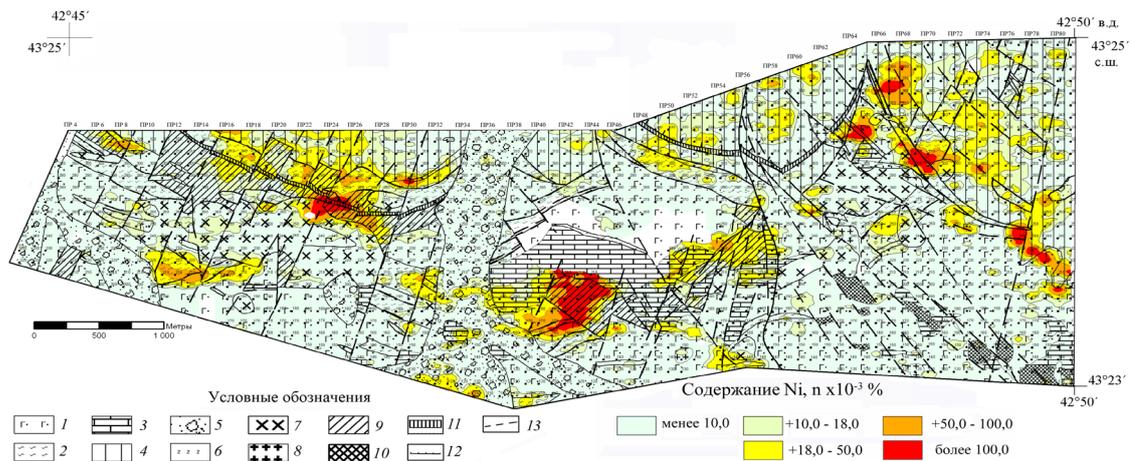


Рис. 4. Карта сопоставления геохимических аномалий никеля во вторичных ореолах рассеяния с геологическими комплексами восточной части Передового хребта

1-5 – стратифицированные комплексы: 1 – осадочно-вулканогенный (D_2), 2 – морской терригенный (D_3), 3 – карбонатный (D_3-C_1), 4 – континентальный обломочный ($C_{2,3}$), 5 – горно-ледниковых отложений ($Q_{3,4}$); 6-8 – интрузивные комплексы: 6 – уллу-таллыккольский гипербазитовый герцинский (PZ_3), 7 – чучкурский диорит-гранодиорит-порфировый гиабиссальный позднегерцинский (P-T), 8 – тырныаузский лейкократово-гранитовый альпийский (N); 9-11 – гидротермально-метасоматические образования: 9 – кварц-карбонатные метасоматиты, 10 – скарны, 11 – листвентизированные милониты; 12 – надвиги; 13 – сбросы и взбросы

аномальное значение 0,0017%. Верхнее аномальное значение – 0,33%. Таким образом, фоновые содержания Cr колеблются в широких пределах от 0,0017 до 0,33%, что составило 85,0% от общего количества проб. В целом, вся изученная территория обладает повышенным фоном хрома, что, как и в случае с никелем, связано с развитием вулканогенных и интрузивных пород среднего состава. Положительные аномальные значения Cr (0,33% и более) обнаружены в 1072 пробах, что составило

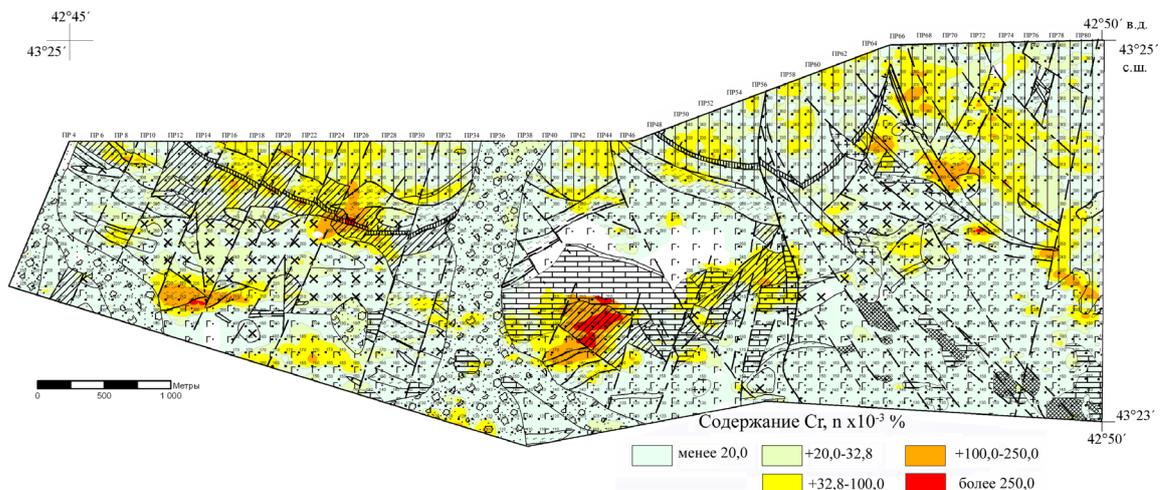


Рис. 6. Карта сопоставления геохимических аномалий хрома во вторичных ореолах рассеяния с геологическими комплексами восточной части Передового хребта. Условные обозначения согласно рис. 4

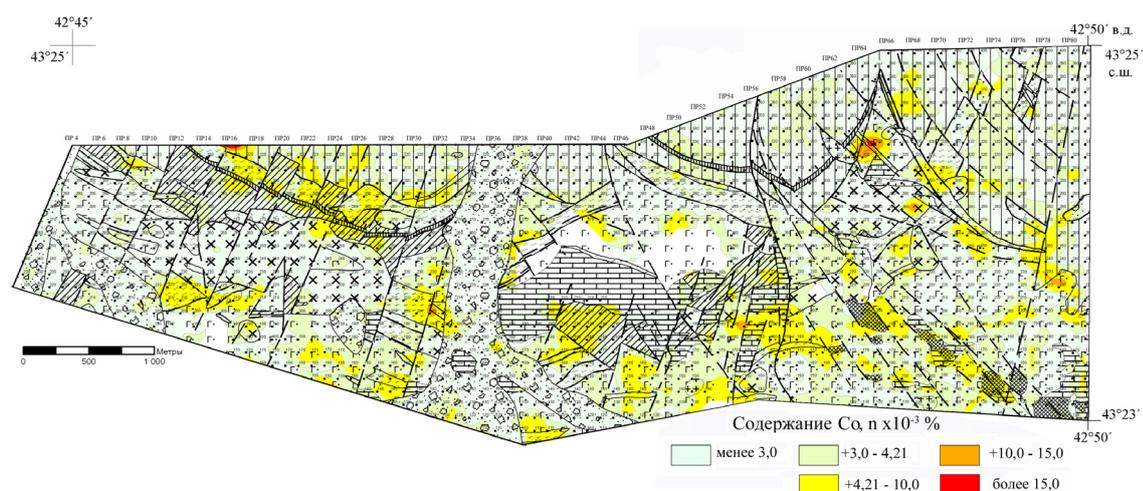


Рис. 5. Карта сопоставления геохимических аномалий кобальта во вторичных ореолах рассеяния с геологическими комплексами восточной части Передового хребта. Условные обозначения согласно рис. 4

15,0% от всей выборки, по площади это составляет 2,6 км², чуть меньше суммарной площади аномалий никеля. В отличие от никеля, геохимические аномалии хрома не обнаруживаются у южной рамки территории в связи с аргиллитами в составе вулканитов кызылкольской свиты. Скорее всего, это связано со спецификой акцессорных рудных минералов, представленных в данном случае сульфидами. Зато аномалии хрома отмечаются там, где нет аномалий никеля, в районе медноколчеданных рудопроявлений хребта Ташорун, что свидетельствует о наличии там гипербазитов. Кроме того, как и в случае с никелем и по тем же причинам, аномалии хрома отмечаются в области развития обломочных пород верхнекаменноугольной моллассы в северной части территории и в ее северо-восточном углу.

Содержания кобальта во вторичных ореолах рассеяния колеблются от 0,001 до 0,05%. Модальное значение 0,002% – в два раза меньше среднеарифметического (0,004%) и соответствует кларку земной коры и осадочных пород, почти на порядок меньше кларка для гипербазитов. Нижнее аномальное значение 0,0008%. Верхнее аномальное значение – 0,0042%. Поэтому положительные аномалии Co, также как никеля и хрома, можно связывать с наличием гипербазитов.

Фоновые содержания Co колеблются в широких пределах от 0,0008 до 0,0042%, что составило 83,3% от общего количества проб. Таким образом, вся изученная территория в целом обладает нормальным для земной коры фоном кобальта. Положительные аномальные значения Co (0,0042% и более) обнаружены в 1198 пробах (16,7% от всей выборки), что по площади составляет 2,8 км² и сопоставимо с площадями аномалий никеля и хрома. Однако пространственное их распределение заметно отличается.

Аномалии кобальта развиты по всей площади – как в западной, так и восточной ее половинах (рис.5).

В большинстве случаев очевидна их связь с выходами гипербазитов и развитых по ним кварц-карбонатных метасоматитов, а также с филлитовидными сланцами и аргиллитами артыкчатской свиты. В отличие от никеля и хрома, аномалии кобальта обнаруживаются также в пределах Зыгырколский зоны разломов, где в некоторых случаях совпадают с аномалиями золота, серебра, мышьяка, вольфрама и др.

химических элементов, связанных с альпийской гидротермальной деятельностью Тырныаузской рудообразующей системы. Этим распределение аномалий кобальта сильно отличается от распределения аномалий никеля и хрома. Крупная аномалия кобальта отмечается в верховьях р. М. Суарык, где она является самой обширной в составе цепочки аномалий северо-западного простирания, параллельной Зыгырколской зоне. В меньшей степени в аномалиях кобальта проявлена дайка гипербазита Хромитовой тектонической зоны. Похоже, аномалии кобальта имеют двойную природу, – породную, в связи с гипербазитами, и гидротермальную, в связи с альпийским оруденением.

Таким образом, пространственная позиция аномалий никеля, хрома и в меньшей степени кобальта во вторичных ореолов рассеяния определяется в первую очередь положением в пространстве потенциально платиноносных гипербазитов и развитых по ним лиственитов и кварц-карбонатных метасоматитов. Это позволяет локализовать площади для постановки поисковых работ на платинометальное оруденение.

Литература

1. Богуш И.А., Рябов Г.В. благородные металлы в россыпях бассейна рек Уруп-Большая Лаба (Северный Кавказ) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2011, №3. С. 94-97.
2. Глазырина Н.В. Особенности вещественного состава и рудоносности Тоханской черносланцевой формации Северного Кавказа // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2006, №3. С. 77-80.
3. Гончаров В.И., Богуш И.А., Глазырина Н.В., Исаев В.С. Литология, геохимия и золотоносность черносланцевых комплексов Северного Кавказа // Вестник Южного научного центра. Т. 4, №4, 2005. С. 58-63
4. Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 280 с.
5. Емкужев А.С., Парада С.Г., Столяров В.В., Тарасов В.А. Опыт применения крупномасштабной магнитной съемки при поисках золотого оруденения в восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская республика) // Геология и геофизика Юга России. №3. 2013. С. 3-19.
6. Исаев В.С. Генетические особенности гипермафитов месторождения Тырныауз (Северный Кавказ). Геология, оценка и локальный прогноз месторождений цветных, редких и благородных металлов: Сб. науч. тр. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – С. 75-86.
7. Курдюков А.А., Исаев В.С., Курдюкова С.А. О происхождении кварцево-карбонатных пород Тырныауза // Докл. Академии Наук СССР. Т. 237, №5, 1977. С. 1175-1178
8. Маркин М.Ю., Столяров В.В., Шишкалов И.Ю. Геологические условия локализации золотого оруденения северного фланга Тырныаузского рудного поля // Вестник Южного научного центра. Т.10, №2, 2014. С. 44-51
9. Овчинников Л.Н. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983. 191 с.
10. Парада С.Г. О платиноносности Северного Кавказа / Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: материалы VII Международной научно-практической конференции г. Новочеркасск, 1 декаб.

2008 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. С. 10-13

11. Парада С.Г., Маркин М.Ю., Холод Ю.В., Шишкалов И.Ю. Минерагенические аспекты геохимических исследований Малкинского рудного района // Вестник Южного научного центра. 2011а. Т.7, №3. С. 47-58.

12. Парада С.Г., Маркин М.Ю., Холод Ю.В., Шишкалов И.Ю., Столяров В.В. Целевое минерагеническое прогнозирование рудоносности геологических комплексов на основе новых химико-аналитических данных / Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: материалы IX Международной научно-практической конференции г. Новочеркасск, 20 декаб. 2010 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011б. С. 4-9

13. Парада С.Г., Маркин М.Ю., Шишкалов И.Ю., Столяров В.В. Первые химико-аналитические данные о платиноносности Беденского серпентинитового массива (Карачаево-Черкесская республика) // Докл. Академии Наук. Т. 454, №5, 2014. С. 567-569.

14. Парада С.Г., Столяров В.В. Минералогические и геохимические признаки платиноносности северного фланга Тырнаузского W-Мо месторождения (Кабардино-Балкарская республика) / Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Труды X Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 150-летию со дня рождения акад. В.И. Вернадского г. Апатиты, 7-10 апреля 2013 г. Апатиты, 2013. С. 169-172.

15. Парада С.Г., Столяров В.В. О роли палеозойских интрузий в локализации золотоносных минерализаций на северном фланге Тырнаузского рудного поля // Вестник Южного научного центра. Т.8, №2, 2012. С. 33-40

16. Парада С.Г., Холод Ю.В., Шишкалов И.Ю. Геохимия вторичных ореолов рассеяния Малка-Муштинского рудного узла (Северный Кавказ) // Вестник Южного научного центра. Т. 7, №3, 2011. С. 55-60

17. Пэк А.В. Геологическое строение рудного поля и месторождения Тырнауз. Тр. ИГЕМ, М.: Наука, 1962. Вып. 56. 168 с.

18. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8: Воронеж: Изд-во ВГУ. 2008. 66 с.

19. Golden Software Surfer 10. Golden Software, Inc, Colorado, U.S. A. 2011. 60 p.

MANIFESTATION OF POTENTIALLY PLATINUM CONTAINING ULTRABASITES IN THE GEOCHEMICAL ANOMALIES OF Ni, Cr AND Co BASED ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN PART OF FRONT RANGE (KABARDINO-BALKARSKAYA REPUBLIC)

© 2014 S.G. Parada, Doct. Geol.-Min. Sci., V.V. Stoliarov, M.U. Markin, Cand. Geol.-Min. Sci., I.U. Shishkalov, Cand. Geol.-Min. Sci.

Institute of the Arid Zones of Southern Scientific Center RAS, 41, Chekhov st., Rostov-on-Don, 344006, Russia; e-mail: parada@ssc-ras.ru

It is shown that ultrabasites of the mineragenic zone of Front Range possess the geochemical and mineralogical signs of platinum containing. To evaluate the degree of the prevalence of potentially platinum containing ultrabasites the GIS-working of the geochemical data massif, obtained as a result of the detailed metallometric survey of its eastern part of Front Range is carried out. It is established that the potentially platinum containing ultrabasites, developed in the form of small intrusive bodies, and developed on them metasomatity are reflected in the second halos of scattering by geochemical anomalies of Ni, Cr and Co, which makes it possible according to this sign to localize areas for setting of the expensive search operations on the metals of platinum group.

The keywords: ultrabasites, platinum containing, geochemical survey, the second halos of scattering Ni, Cr, Co, Tyrnyauz ore field.

УДК 550.34. 06.013.3

АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

© 2014 Х.О. Чотчаев, с.н.с.

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

При этом используется целый ряд современных принципов и подходов. Здесь, в частности, активно развивается вероятностный подход, приближающий оценку сейсмической ситуации к реальной. В то же время почти каждое разрушительное землетрясение высвечивает ряд все новых проблем или в очередной раз демонстрирует ограниченность наших знаний. В статье приводится анализ некоторых концепций сейсмических воздействий на инженерные сооружения. Любая территория в сейсмически опасном регионе подлежит специальному изучению на предмет дифференциации зон с различной сейсмической опасностью.

Ключевые слова: инженерные сооружения, сейсмический сигнал, глубина фронта.

Любая территория в сейсмически опасном регионе подлежит специальному изучению на предмет дифференциации зон с различной сейсмической опасностью [Заалишвили и др., 2011]. При этом используется целый ряд современных принципов и подходов. Здесь, в частности, активно развивается вероятностный подход, приближающий оценку сейсмической ситуации к реальной [Заалишвили, Рогожин, 2010]. В то же время почти каждое разрушительное землетрясение высвечивает ряд все новых проблем или в очередной раз демонстрирует ограниченность наших знаний [Керимов, Гайсумов, 2009; 2010; 2012]. При этом меньшее внимание, за редким исключением, уделяется собственно сейсмическому воздействию [Заалишвили, 2009]. Здесь имеются проблемы, путь решения которых не всегда единодушно признается учеными и специалистами. Это, в условиях насыщенности той или иной территории источниками с потенциалом сильных воздействий, обуславливает неопределенность и повышенную сейсмическую опасность.

Считается, что при воздействии упругих сейсмических колебаний землетрясений на конструкции строительных сооружений доминирующая роль отводится параметру ускорения грунта, возникающему в меньшей степени в режиме сжатия-растяжения и в большей – в сдвиговом режиме. Численные значения ускорения с разрушительными последствиями, вычисленные по записям акселерограмм, либо пересчитанные дифференцированием велосигграмм или сейсмограмм, сейсмологи оценивают в десятые доли величины ускорения силы тяжести, реже в 1,2-1,6 g. Концепция сейсмологов основывается на признании превалирующей роли сейсмического воздействия низкочастотных колебаний, несущих основную часть упругой энергии землетрясений и содержащих в спектральном составе сейсмического импульса землетрясения, в том числе, и колебания, совпадающие по частоте с собственными частотами многих конструкций сооружения, приводящие часто к резонансному эффекту [Заалишвили и др., 2009а, б; 2010].

Наряду с этим существует ряд гипотез, отрицающих обоснованность официально действующих научных положений и норм, используемых при проектировании сейсмостойких инженерных сооружений в сейсмоопасных районах.

Вкратце охарактеризуем некоторые из этих гипотез.

По мнению группы авторов [Смирнов и др., 2013], принятые по СНиП нормативные ускорения не способны вызывать характерные срезывающие строительные конструкции, провоцирующие впоследствии масштабные разрушения зданий. Для этого величины ускорения, по мнению авторов, должны достигать порядка $1000g$ и более, которые, якобы, в действительности и имеют место в строительных конструкциях при землетрясениях 7-8 баллов [Смирнов и др., 2013] и являются основной причиной их разрушений. Авторы исключают возможность разрушительного воздействия низкочастотных колебаний землетрясений на строительные сооружения или резонансного эффекта и декларируют импульсно-волновую природу воздействия, при этом недостаточно правильно представляя себе физику упругой волны и основы ее распространения по законам геометрической сейсмологии.

Причину «ошибочного направления развития» сейсмостойкого строительства и «заблуждения сейсмологов» авторы формулируют следующим образом: «Таким образом, было решено (**сейсмологами**), что главным и единственным сейсмическим движением грунта являются только его низкочастотные гармонические колебания. При этом про сейсмические волны было решено либо забыть, либо считать, что эти волны проявляются под зданиями только в виде этих самых колебаний».

Отрицая доминант низкочастотных колебаний и связанный с ними негативный эффект резонансных явлений в конструкциях, авторы упрекают сейсмологов в том, что они создали колебательную модель распространения упругих волн и спектральный метод расчета, которые лежат в основе официальной научной концепции в существующих нормативных документах [СНиП II-7-81..., 1982]. Обвиняют сейсмологов и в инженерных просчетах проектирования в сейсмических зонах 7-8-ми балльной интенсивности за несоответствие разрушительных последствий расчетным запасам сейсмостойкости конструкций, как известно, являющееся прерогативой специалистов по сопротивлению материалов и строительной механике.

Следует отметить, что в интервале времени развития события «землетрясение – антропогенная среда» участие сейсмологии заканчивается грунтами основания, действительную или расчетную реакцию которых по различным параметрам кинематики и динамики упругой волны происшедшего или ожидаемого землетрясения сейсмолог обязан изучить и охарактеризовать для дальнейшего использования сведений специалистами по сооружениям и конструкциям. Реакция инженерных сооружений на сейсмическое воздействие грунтов их оснований зависит от физико-механических характеристик строительных материалов, архитектурно-конструкторских особенностей сооружения, к которым сейсмология не имеет никакого отношения. В этой связи попытка специалистов по строительной механике обвинить сейсмологию вообще и сейсмологов в частности в установлении диктата на сейсмостойкое строительство выглядит не совсем корректно.

Другие противники официальной теории механизма воздействия сейсмической волны на инженерные сооружения отрицают доминирующую роль ускорения и акцентируют внимание на смещении, утверждая, что именно смещение является причиной разрушительного эффекта землетрясений, казалось бы, относительно уме-

ренной интенсивности (7-8 баллов) [Курзанов, 1995]. Они полагают, что низкочастотные сейсмические колебания, с большой амплитудой перемещений грунтов III категории, вызывают в сооружениях разрушительные бегущие поперечные волны, крутизна которых тем больше, чем больше амплитуда сейсмических перемещений грунта и чем меньше (в определенных пределах) частота его колебаний. (На самом деле крутизну можно усилить и за счет увеличения частоты колебаний).

При этом они справедливо считают, что во время сильных землетрясений ускорение грунтов I категории больше ускорения грунтов III категории, хотя разрушительное воздействие имеет обратную зависимость.

Дело в том, что интервал времени, в течение которого упругая деформация материальной точки, находящейся в процессе гармонического колебания, достигает наибольшей амплитуды, равен четверти периода колебаний. Тогда величина пикового ускорения будет равна:

$$\ddot{A}=16Af^2, \quad (1)$$

где A – амплитуда, f – частота колебаний. Поскольку отклик плотных пород на сейсмическое воздействие характеризуется, как известно, спектром высокочастотных колебаний, именно их ускорение определяет динамику плотной среды. Однако следует учесть, что проявление больших ускорений в грунтах I категории – явление кратковременное из-за больших значений акустической жесткости среды и скорости распространения упругой волны. Максимальное смещение материальной точки относительно положения равновесия происходит быстро, а за счет того, что жесткость среды превосходит момент упругой силы импульса на фронте волны, переносимой волной энергии недостаточно для развития больших смещений и преодоления стадии упругой или упругопластической деформации. Исключение может иметь место в непосредственной близости от очага импульса.

При взаимодействии грунтов III категории с коротковолновыми колебаниями, вязкие составляющие среды проявляют себя как упругие, и остаточные явления заметно не проявляются, в то время как распространение длинноволновых колебаний в несовершеннo-упругой среде сопровождается вязкими деформациями и понижением скорости волн.

Инакомыслие в оценке природы сейсмических волн, в кинематике и динамике их воздействия на инженерные сооружения вызвано, прежде всего, стремлением найти причины часто наблюдаемого несоответствия последствий воздействия землетрясений 7-8 балльной интенсивности на инженерные сооружения, построенные с запасом прочности, соответствующим расчетной сейсмической интенсивности грунтов.

Высокий уровень разрушений и специфика повреждений, часто несоответствующие интенсивностям произошедших землетрясений, могут быть следствием, к примеру, несовершенства принятой методики использования расчетных и синтетических акселерограмм, часто используемых взамен инструментально записанных оригиналов, недостаточного учета параметров и свойств фактического геологического разреза, из-за низкого качества геологического и сейсмического микрорайонирования, а также несовершенства измерительной аппаратуры, как следствие развития направления использования инерциальных измерительных систем. Ниже мы рассмотрим состоятельность этой концепции в комплексе с энергетическими воздействиями упругих волн землетрясений на основе сейсмологических толкований.

Рассмотрим физическую модель среды, способствующую возникновению смещения и его производных, используемых в анализируемых концепциях в качестве определяющих параметров реакции волноводов на воздействия упругих волн землетрясений.

Теоретические основы сейсмологии разработаны из предположения распространения упругой волны вдоль сейсмических лучей по законам геометрической оптики, определяющие те же особенности изменения упругой волны при распространении в сплошных средах, которые характерны для световых волн в оптике.

Исходя из этого, выделим некоторые особенности распространения упругой волны, имеющие отношение к рассматриваемым концепциям.

- Фронт упругой волны не может иметь разрыва (случай обратного предусматривает существование абсолютно жестких волноводов либо сред с бесконечными скоростями упругих волн). При этом смещение и его производные могут иметь разрыв. Поверхность, на которой смещение терпит сильный разрыв, характеризуется разрушением среды (зона взрывного очага, разрывы земной поверхности, глубинные тектонические разрывы и трещиноватости, складкообразование и сейсмические оползни, разрушения конструкций и т. д.) [Саваренский, Кирнос, 1956].

- Каждая падающая волна расщепляется на две отраженные волны, одна из которых продольная, другая поперечная (обменная), и две проходящие волны, также, одна из которых продольная, другая поперечная (обменная). Проходящие волны при определенных соотношениях скоростей соседних слоев, достигая критического угла падения с границей раздела, образуют во втором слое преломленные волны.

Согласно этим особенностям, геометрическая сейсмика не допускает преломление волны второй средой, если скорость упругой волны в первой среде больше, чем во второй.

- Скорость распространения упругой волны любого типа в изотропной однородной среде одинакова независимо от направления распространения.

- Сейсмические лучи землетрясений с приближением к поверхности Земли подвергаются рефракции за счет градиента геостатического давления с глубиной. Чем больше градиент, тем больше угол выхода сейсмического луча на дневную поверхность. Сейсмический луч, наиболее вероятной, проходящей волны в строительных грунтах (зона малых скоростей), как правило, выходит на границу раздела под углом близким к 90° .

- Ускорение может скачком возрастать при переходе волны в иную литологическую среду, тектоническую зону, геоморфологическую структуру с характерным гидрогеологическим режимом, либо плавно изменяться в средах, где наблюдается рефракция волны.

- При распространении групповой волны в гетерогенных средах наблюдается изменение фазовой скорости упругих волн в зависимости от их длины. Если низкочастотные колебания распространяются быстрее высокочастотных, то в тыловой зоне образуются новые волны, которые затухают к фронту, максимумы отдельных монохроматических волн групповой волны опережают максимум групповой волны, что означает уменьшение ее фазовой скорости (случай нормальной или геометрической дисперсии, и она характерна для объемных волн). В упруго-вязко-пластических средах, когда высокочастотные колебания опережают низкочастотные, фазовая скорость групповой волны увеличивается, так как в начале групповой волны образуются новые волны, а на конце они исчезают. В этом случае максимум группо-

вой волны перемещается быстрее, чем максимумы отдельных монохроматических волн (случай аномальной дисперсии для поверхностных волн).

Аномальная дисперсия возникает потому, что при взаимодействии с коротковолновыми колебаниями вязкие деформации среды проявляются не полностью. За кратковременный цикл колебаний, присущий коротким волнам, вязкие составляющие среды проявляют себя как упругие.

Распространение длинноволновых колебаний в несовершеннo-упругой среде сопровождается вязкими деформациями, т. е. пониженной упругостью среды, а соответственно и понижением скорости волн.

Импульс, как результат взаимодействия момента силы импульса и сейсмических свойств среды, состоит из множества монохроматических волн, характеризующихся гармоническими колебаниями различной частоты. Ширина частотного спектра колебаний определяет глубину фронта импульсной волны, представляющую собой растянутый график аperiodических колебаний сложной формы, регистрируемый на сейсмограмме в виде вступления цуга колебаний различной продолжительности, определяемой процессом протекания импульса в конкретной геологической среде. Дальнейшее изменение спектрального состава импульса всецело зависит от акустической жесткости среды, в которой распространяется волна. Эта зависимость лежит в основе корреляционного метода преломленных волн, использующий сравнительный анализ сейсмических характеристик упругих волн, записанных на больших удалениях друг от друга. К сожалению, многие идентифицируют понятия МПВ и КМПВ, несмотря на то, что первое характеризует особенности распространения волны на границе двух контрастных сред, а второе – прослеживает постоянство сейсмологических и сейсмических характеристик внутри одного слоя.

Упругая деформация геологической среды представляет собой кратковременное смещение элементов среды в виде сдвига или сжатия-растяжения, в зависимости от действия нормальной (ортогональной) или касательной (тангенциальной) составляющих вектора возмущающего импульса.

В отличие от полей электрических и электромагнитных, магнитных и гравитационных, где напряженность и потенциал поля можно наблюдать в любой точке полупространства и сколь угодно долго, упругая энергия точечного импульсного источника не может находиться в статическом состоянии. Она проявляется в динамике, концентрируясь только во временном интервале глубины фронта, включая и зону релаксации со стороны тыла, которая характеризуется, как правило, дефицитом энергии за счёт её уплотнения на фронте.

Упругая взаимосвязь между распространяющимся от очага импульсом и упруго-деформационными свойствами среды наступает в момент, когда давление на грунт на фронте не превышает предел упругой деформации среды, что означает установления динамического условия распространения сейсмического сигнала, которое можно записать в следующем виде:

$$- \tau_n = 2\pi f A V \rho, \quad (2)$$

где τ_n -напряжение деформации среды, V - скорость передачи энергии в направлении вектора силы, $2\pi f A$ – круговая скорость, A – амплитуда смещения, f – частота колебания.

Поскольку существует предел упругой деформации среды, после чего начинают проявляться явления пластических изменений или необратимых разрушений, физическая сущность равенства (2) заключается в том, что скорость переноса энергии

волны соответствует той максимальной амплитуде смещения, при которой среда продолжает сохранять упруго-деформационные свойства. Говоря иначе, скорость переноса энергии не позволяет этой энергии в любой точке фронта превысить амплитуду смещения предела упругой деформации. Если это условие не соблюдается, то энергии упругой волны на фронте приводит к нелинейным изменениям среды в виде тектонических нарушений, сейсмических оползней, зон трещиноватостей, разрывов участков дневной поверхности.

Сейсмический сигнал представляет собой результат реакции среды на динамические особенности процесса протекания импульса. Поскольку условия взаимодействия этих двух физических событий постоянно меняются, параметры сейсмического сигнала с расширением фронта волны будут меняться.

Физическую сущность сейсмического сигнала составляет импульс силы или, что одно и то же, количество движения, имеющие вектор направленности от очага импульса к периферии. Оба эти физические понятия характеризуют мгновенное значение кинетической энергии, концентрированной в замкнутом расширяющемся слое пространства, толщиной равной глубине фронта.

Под глубиной фронта подразумевается промежуток времени, разделяющий тыл сигнала, когда область среды, испытавшая упругое воздействие, уже восстановила положение первоначального равновесия, от переда фронта, где среда ещё не испытала упругого воздействия. Чем меньше глубина фронта, тем отчётливее вступление фронта на сейсмограмме и тем короче импульс, что очень существенно при регистрации в ближней зоне.

Сейсмический сигнал обладает в каждый момент времени определённой амплитудой, частотным спектром и длительностью. Эти параметры характеризуют динамические и кинематические характеристики сигнала, фазу вступления фронта, его глубину и спектральный состав, на основании которых определяются физико-механические характеристики горных пород и их литологический состав.

Любой рассматриваемый параметр источника возбуждения – импульс силы, количество движения или энергия упругой составляющей – расходуется на упругое смещение материальных точек, охваченных глубиной фронта упругой волны. Амплитуда смещения каждой точки будет зависеть от ее расположения на профиле глубины фронта и спектрального состава волны, характеризуя при этом амплитуду отдельной монохроматической волны. Каждая материальная точка, смещаясь относительно своего положения равновесия, начинает с запаздыванием воздействовать на соседнюю точку, смещая ее относительно ее же положения равновесия. Последовательное вовлечение материальных точек в процесс смещения представляет собой упругую (сейсмическую) волну, а смещение материальных точек относительно положения равновесия есть колебания. В случае отдельной монохроматической волны или импульса в целом эти смещения представляют собой соответственно затухающие гармонические или аperiodические колебания. Любая сейсмическая волна является порождением упругого отклонения частиц среды относительно положения равновесия. Смещение материальных точек на фронте ведет к вовлечению в процесс деформации соседних точек с некоторым запаздыванием по фазе, и этот процесс продолжается до тех пор, пока амплитуда смещения «А» в правой части формулы (2) теоретически не будет равна нулю, а практически – величине равной разрешающей способности регистрирующего канала.

Если тело не может быть деформировано, то есть телу нельзя передать никакой другой энергии, кроме кинетической энергии поступательного или вращательного движения, в нем не может возникнуть и распространяться сейсмическая волна.

В связи с этим, спорно утверждение авторов [Смирнов и др., 2013], что сейсмологи, оперируя колебаниями, не учитывают сейсмические волны.

Основные положения альтернативного взгляда на воздействие землетрясений, приведенные авторами в декларативной форме, можно обобщить в следующих определениях.

- Отрицание резонансной модели разрушения инженерных сооружений.
- Второстепенная роль низкочастотных колебаний в энергопереносе и их полное затухание в пределах эпицентрального расстояния порядка 10 км.
- Утверждение импульсной модели воздействия за счет вторичных сдвиговых волн, вызывающих ударные волны.
- Отрицание какой бы то не было разрушительной роли сейсмических волн, не вызывающих в грунтах ускорения в 1000 и более единиц силы тяжести.

Обоснованность каждого из этих определений рассмотрим в отдельности.

В общем случае дифференциальное уравнение прямолинейного движения материальной точки, представленное через силовые составляющие, имеет вид:

$$m d^2 X / dt^2 + 2 n m d X / dt + c X = H \sin (pt + \beta). \quad (3)$$

Слагаемые $[m d^2 X / dt^2]$, $[2 n m d X / dt]$ и $[c X]$ характеризуют силы противодействия смещению (инерциальная сила), внутреннего сопротивления и упругой деформации, сумма которых уравнивает возмущающую силу $H \sin (pt + \beta)$.

Через параметр смещения его можно записать в следующем виде:

$$d^2 X / dt^2 + 2 n d X / dt + k X = h \sin (pt + \beta), \quad (4)$$

где $2n = \mu / m$, $k^2 = c / m$, $h = H / m$, p и k – круговые частоты колебаний вынужденных и свободных, μ и c – коэффициенты, соответственно, внутреннего трения и упругости среды

Решением уравнения (3), если $n \neq 0$, является:

$$X = a \sin (kt + \alpha) + b \sin (pt + \beta), \quad b = \frac{h}{k^2 - p^2} \quad \text{при } k \neq p, \quad (5)$$

где $[a \sin (kt + \alpha)]$ – является амплитудой свободных колебаний среды, $[b \sin (pt + \beta)]$ – амплитудой вынужденных колебаний под воздействием импульса.

При $k = p$ возникает резонанс и решение примет вид:

$$X = a \sin (kt + \alpha) - \frac{ht}{k} \cos (pt + \beta),$$

которое приводит к резонансу за счет неограниченного роста величины второго слагаемого.

Так как импульс в своем спектре с большой вероятностью может иметь монохроматическую волну с частотой собственных колебаний здания, отрицать резонанс нет никаких оснований.

Ослабление упругой волны в реальных геологических средах происходит, в основном, за счет расхождения величины энергии в расширяющемся пространстве слоя волнового фронта и диссипативных потерь в среде, вызванных неидеальной упругостью геологической среды.

Известно также, что частота колебаний уменьшается при увеличении глубины залегания отражающего горизонта. В силу этого в конце сейсмограммы видимые периоды колебаний отраженных волн заметно больше, чем в ее начале. Это связано с тем, что для используемых на практике частот <100 Гц поглощение обратно пропорционально длине волны. Более сильное поглощение высокочастотных компонентов приводит к тому, что колебания с увеличением времени прихода волн на сейсмограммах все более смещаются в сторону низких частот [Чотчаев, 2013].

Собственно поглощение энергии выражается в зависимости от расстояния показательным законом: $\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_0 e^{-2\alpha x}$, а изменение амплитуды также показательной зависимостью вида: $A_x = A_0 e^{-\alpha x}$, где α – коэффициент поглощения среды, x – положение фронта волны в направлении сейсмического луча относительно очага импульса.

Если рассматривать A_0 и A_x как амплитуды двух соседних однофазных колебаний, отстоящих друг от друга на расстоянии одной длины волны, то из выражения $\alpha x = \ln \frac{A_0}{A_x}$ вытекает, что $x = \lambda = \frac{V}{f}$, далее, используя логарифмический декремент затухания $\delta = \ln \frac{A_0}{A_x}$ [Полак, 1954], находим $\delta = \alpha x = \frac{\alpha V}{f}$, откуда $\alpha = \frac{\delta f x}{V}$ или $A_x = A_0 e^{-\delta x f / v}$ (6).

Используя временной параметр распространения волны, выражение (6) запишется в виде:

$$A_x = A_0 e^{-\delta f t} \quad (7)$$

Так как логарифмический декремент δ для отдельно взятой системы не меняется, затухание упругой волны определяется экспоненциальной зависимостью от частоты и времени пробега.

Напомним, что декремент затухания есть величина уменьшения амплитуды за время пробега волны расстояния в одну длину волны, а логарифмический декремент затухания характеризует такое расстояние пробега, при котором амплитуда волны изменяется в e -раз.

Используем формулу (7) для определения предельного расстояния от эпицентра землетрясения, при котором возможна регистрация смещений квазиимпульсных сигналов с частотами колебаний 200, 100, 50 и 2 Гц, превышающих по амплитуде микросейсмический фон в 3-4 раза (8-9 мкм), если смещение в эпицентре достигало, к примеру, 4,5 м. Условие требует, чтобы выражение $e^{-\delta f t}$ в формуле $A_x = A_0 e^{-\delta f t}$ было равно $5,625 \cdot 10^5$, а произведение $\delta f t = 13,24$. Принимая среднее статистическое значение логарифмического декремента равным 0,012, находим время, удовлетворяющее условию для принятых частот: 200 Гц – 5,51 с; 100 Гц – 11,03 с; 50 Гц – 22,06 с; 2 Гц – 551 с, или при скорости продольных волн порядка 5000 м/с условленное смещение можно будет регистрировать на следующих расстояниях от эпицентра соответственно: 28; 55; 110 и 2758 км.

Однако авторы, произвольно моделируя кинематические и динамические особенности взаимодействия упругой волны в выражено неупругой грунтовой среде, ограничивают возможность распространения любого импульса далее 10 км.

Основная идея альтернативной «волновой модели» авторов [Смирнов и др., 2013] заключается в образовании поперечных волн на границе раздела коренных пород и четвертичных отложений, генерируемых первичными высокоскоростными продольными волнами, распространяющимися в подстилающих коренных породах, что само по себе не является открытием. Открытием является следующая

мысль авторов: «Скорость движения волн в нижних слоях на порядок выше, чем в верхних. В результате они сдвигают свои слои относительно верхних слоев и этим вызывают перекося и сдвиг всей поверхностной толщи грунта глубиной H порядка 100-150 м. Этот сдвиг формируется при пробегании снизу вверх вторичных волн сдвига». И далее: «При этом в сдвигаемой толще накапливается огромная потенциальная энергия. Периодически распрямляясь, толща скачком переводит ее в кинетическую энергию и наносит мягкие боковые удары по фундаментам зданий. Именно эти удары срезают колонны и стены зданий при землетрясениях».

Но, если рассматриваются продольные волны в подстилающем слое, которые образуют волны сдвига в верхней толще, то каким образом они (продольные волны) в нижнем слое могут вызвать сдвиги, которые и являются причиной «накопления огромной потенциальной энергии в верхней толще»? В изложенном виде трактовка может подразумевать не динамическое распространение упругой волны, а колебания автономного осциллятора [Гликман, 2003].

На границе двух сред значения скорости и давления должны непрерывно переходить из одной среды в другую, т. е. ни скорость, ни давление в любой момент времени не должны испытывать скачка. Возникновение скачка скорости означало бы также и появление скачка смещения, т. е. разрыва сплошности на границе сред, что противоречит неразрывности фронта. Наличие постоянно сохраняющегося скачка давления также физически невозможно, так как давление в двух бесконечно близких слоях двух сред должно мгновенно выравниваться. Скачок давления мог бы существовать, если бы на границе был расположен слой источников звука, а скачок скоростей – если бы на границе был слой диполей.

Поскольку предполагать наличие на границе подобных источников нет никаких оснований, можно считать, что давление и скорость частиц меняются при переходе границы непрерывно. Таким образом, на границе будем иметь: $\xi_n + \xi^0 = \xi_{np}$ и $p_n + p^0 = p_{np}$, где ξ_n , ξ^0 , ξ_{np} – скорости смещения материальных частиц соответственно в падающей, отраженной и проходящей волнах, а p_n , p^0 , p_{np} – давления, создаваемые этими волнами.

Между давлением и скоростью частиц существует известное соотношение $p = \pm \rho c \xi$, причем знак плюс соответствует прямой волне, а знак минус – обратной. В падающей волне давление $p_n = \rho_1 c_1 \xi_n$, а в отраженной волне $p^0 = -\rho_1 c_1 \xi^0$, для второй среды $p_2 = \rho_2 c_2 \xi_2$. В этих выражениях c_1 , c_2 , ρ_1 , ρ_2 скорости упругих волн в нижней и верхней средах и плотности этих сред. Подставляя эти выражения в граничное условие для скоростей и давлений, получим два уравнения:

$$\xi_n + \xi^0 = \xi_{np} \text{ и } \rho_1 c_1 (\xi_n - \xi^0) = \rho_2 c_2 \xi_{np}, \quad (8)$$

которые описывают условие равновесия на границе коренных пород и четвертичных образований.

Из этих уравнений можно определить отношения для скоростей:

$$r_\xi = \xi^0 / \xi_n = (R_1 - R_2) / (R_1 + R_2) \text{ и } t_\xi = \xi_{np} / \xi_n = 2R_1 / (R_1 + R_2), \quad (9)$$

где R_1 и R_2 – являются волновыми сопротивлениями, соответственно, среды, откуда падает и среды, где проходит волна.

Отношения для давлений имеют следующий вид:

$$r_p = p^0 / p_n = - (R_1 - R_2) / (R_1 + R_2) \text{ и } t_p = p_2 / p_1 = 2R_1 / (R_1 + R_2). \quad (10)$$

В выражениях (9) и (10) правые части характеризуют коэффициенты отражения и прохождения.

Если $R_2 > R_1$, т. е. если вторая среда акустически более «жесткая», чем первая, то числитель первого соотношения (9) будет отрицательным. Это значит, что скорость частиц при отражении претерпевает изменение фазы на π радиан, т. е. отраженная волна имеет обратную фазу по сравнению с падающей волной. Скорость же частиц в проходящей волне изменяется синфазно с изменениями в падающей волне, независимо от того, будет ли R_2 больше или меньше R_1 . В то время, как скорость частиц при отражении от более жесткой среды меняет фазу на обратную, фаза давления остается неизменной. На границе возникает эффект торможения, т. е. движения частиц испытывают замедление, а давление объемной массы нижнего слоя на подошву перекрывающей толщи увеличивается.

Если $R_2 < R_1$, т. е. вторая среда акустически более «мягкая», то фаза скорости частиц при отражении остается без изменения, в то время как давление меняет свою фазу на π радиан.

В этом случае частицы среды, наоборот, увеличивают скорость смещения, а давление меняет вектор в противоположную сторону от границы раздела. Получается эффект ускорения.

Так как рассматривается случай $R_2 < R_1$, то имеет место уменьшение суммарного давления падающей и отраженной волн на границу раздела. Для случая, когда волновое сопротивление коренных пород составляет порядка ($2300 \text{ кг/м}^3 \cdot 3000 \text{ м/с}$), а волновое сопротивление четвертичных образований ($1800 \text{ кг/м}^3 \cdot 600 \text{ м/с}$), из выражения: $r_p = p_o/p_n = (R_1 - R_2)/(R_1 + R_2)$ найдем, что $p_o/p_n = -0,73$, т. е. на создание активного давления на вышележащую толщу расходуется лишь 27% энергии падающей волны. Остальная часть возвращается обратно в виде отражения.

Таким образом, уравнение равновесия на границе двух сплошных сред запишется в виде:

$$0,27\rho_1 c_1 \xi_n = \rho_2 c_2 \xi_{np}, \quad (11)$$

вместо предложенного авторами: $\rho_v c_v \xi_{vв} = 2\rho_n c_n \xi_{нн}$, где индексы «в» и «н» означают верхний и нижний слои.

Проходящая волна, достигнув границы раздела между четвертичными образованиями и дневной поверхностью (условие $R_2 < R_1$), практически полностью отражается. В отраженной волне возникает давление в противофазе падающей, но скорость смещения частиц при этом остается в одной фазе со скоростью проходящей волны, что ведет к увеличению скорости смещения частиц среды.

При рассматриваемом соотношении волновых сопротивлений, большая скорость смещения частиц в грунтах фундамента может играть основную разрушительную роль, но совершенно очевидно, что следует дополнительно исследовать взаимодействие упругой волны с большой скоростью смещения непосредственно с сооружениями и опорными конструкциями, моделируя их как ограниченные по массе среды.

Относительно возможности возникновения ускорений в 1000 g и более и их роли в разрушительной деятельности сейсмических волн следует сказать следующее.

Подавляющее большинство оседлого проживания человечества приходится на площади, покрытые четвертичными и современными продуктами разрушения горных пород, представляющие собой рыхлую неоднородную по литологическому и гранулометрическому составу толщу. Пространственная доступность площадей,

возможность их обработки относительно малыми затратами, плодородие – послужили определяющими факторами освоения территорий грунтов как благоприятных для жизнедеятельности человечества.

Грунты, как гетерогенные среды, впрочем, как и литологические разности горных пород, представляют собой волноводы или «колебательные контуры», в которых роль индуктивности и емкости, среди прочих физико-механических параметров, играют скорость и плотность среды, формирующие характерный для каждого типа грунта отклик на воздействие упругой волны. Отклик включает уровень и тип смещения среды, его скорость и ускорение, частоту и форму колебаний, глубину фронта и т. д., составляющие кинематические и динамические особенности распространения упругой волны.

С точки зрения сейсмических последствий, показателем волновода служит его способность упруго деформироваться в течение всего времени распространения в нем упругой волны. В этом случае соблюдается динамическое условие распространения упругой волны, при котором наступает баланс двух сил – упругой деформации среды и момента силы импульса на фронте волны.

В плотных высокоскоростных породах это условие соблюдается в большинстве случаев, за исключением очаговой зоны импульса, где преобладают диссипативные силы и угроза сейсмического разрушения инженерных сооружений и конструкций, стоящих на таких породах, возможна при возникновении резонансного эффекта. Однако, если учесть, что плотные грунты (1 категория) генерируют относительно высокочастотный спектр колебаний, который не содержит (не должен содержать) частоты собственных колебаний надземных сооружений, резонанс маловероятен.

Грунты, в отличие от коренных пород, обладают меньшими напряжениями упругой деформации, которая наступает раньше прихода максимума фронта волны. При дальнейшем увеличении напряжения на грунт подходом максимума фронта происходит остаточная деформация и разрушение в виде разжижения, оползня, неупругого перемещения и т. д.

Остаточные деформации являются следствием поглощения энергии волны, т. е. следствием ее аккумуляции в грунте, связанной с физико-механическими и сейсмическими параметрами.

Так как агломерации формируются, как правило, не на территориях геологических обнажений, а в пределах развития четвертичных и современных образований, приведенные особенности формирования спектрального состава колебаний и распространения волны в средах противоречат утверждению о преобладающем воздействии на здания высокочастотных волн.

Для выше рассмотренных частот и расчетных расстояний от эпицентра, используя выражение (1), получим наибольшее значение ускорения равное $5,12 \text{ м/с}^2$ или $0,52 \text{ g}$, а для достижения ускорения 1000 g необходимо, чтобы амплитуда смещения на расчетном расстоянии для частоты 200 Гц была не менее $15,3 \text{ мм}$, что для этих частот на расстоянии 28 км представляется недопустимо большой величиной смещения.

Несмотря на приведенные замечания, следует отметить актуальность переосмысления современных основ разработки сейсмоприемников электромагнитного типа, к существенным недостаткам которых следует отнести ограниченность диапазона измеряемых частот, инертность подвижной системы, влияния внешних электрических и магнитных факторов.

Литература

1. Гликман А.Г. «Сейсморазведка – это очень просто». Журнал «Жизнь и безопасность» Санкт-Петербург, 2003
2. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. Сейсмическое воздействие на площади застройки комплекса «Кавказского музыкального культурного центра» в г. Владикавказе // Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2009а. С. 118-123.
3. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. Сейсмическое воздействие на исследуемой территории с учетом ожидаемых параметров землетрясения // Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2009б. С. 124-130.
4. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Бурдзиева О.Г. Определение сейсмического воздействия на основе конкретной инженерно-сейсмической ситуации района // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. № 1. – М.: 2010. С. 35-39.
5. 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.
6. 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.
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. Курзанов А.М. Промышленное и гражданское строительство, 1995, № 11.
11. Полак Л.С. Ослабление и поглощение отраженных волн в осадочных породах. Отчет тематической партии по изучению физических свойств пород. Казахская геофизическая контора, 1954 г.
12. Саваренский Е.Ф., Киринос Д.П. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. Государственное издательство технико-теоретической литературы. – М.: 1956. 543 с.
13. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд. Часть 2. Бишкек, 2013, с. 143.
14. СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах». 1982
15. Чотчаев Х.О. Комплексирование методов сейсморазведки (МПВ) и геолокационного зондирования для выделения геотектонических и геотехнических особенностей разреза Рокского тоннеля, Владикавказ. Труды ЦГИ ВНИЦ РАН. 2013

ANALYSIS OF THE CONCEPTS OF SEISMIC ACTIONS ON THE CIVIL CONSTRUCTIONS

© 2014 H.O. Chotchaev

Center of Geophysical Investigations of VSC RAS and RNO-A, 93a, Markova st.,
Vladikavkaz, 362002, Russia, e-mail: cgi_ras@mail.ru

In this case a whole series of contemporary principles and approaches is used. Here, in particular, actively is developed the probabilistic approach, which brings the estimation of seismic situation closer to real. At the same time almost each destructive earthquake luminesces a number of new problems or demonstrates again and again the limitedness of our knowledge. In the article the analysis of some concepts of seismic actions on the civil constructions is given. Any territory in the seismically dangerous region is a subject to special study to the object of the differentiation of zones with different seismic danger.

The keywords: civil constructions, seismic signal, the depth of front.

УДК 550.34

NORMALIZED ACCELERATION RESPONSE SPECTRA FOR TBILISI CITY WITH SEISMOLOGICAL PARAMETERS AND SITE EFFECTS

© 2014 P. Rekvava¹, Prof. Dr., K. Mdivani², Dr.

Georgian National Association for Earthquake Engineering and Engineering
Seismology, Tbilisi, Georgia, ¹rekvavapaata@yahoo.com, ²mdivanik@yahoo.com

Due to lack of the real strong ground motion records the objective of this research is to develop a methodology for rapid generation of horizontal and vertical components of earthquake ground motion at any site for Tbilisi city. The model developed in this study provides simulation of ground motion over a wide range of magnitudes and distances at 8 earthquake sources zones of Tbilisi region (within 50 km).

The research includes three main topics: 1) the stochastic simulation of earthquake ground motion at a given site of the city of Tbilisi; 2) the estimation of acceleration time histories at a given site using the direct method of engineering seismology considering soil conditions based on the theory of the reflected waves and 3) calculation of horizontal and vertical acceleration elastic response spectra for main sites of Tbilisi territory.

Keywords: accelerogram, acceleration, ground motion.

INTRODUCTION

In the practice of earthquake engineering an earthquake effect quantitatively is classified according to the seismic scale and by the building code. For this purpose in the seismic scale are used Peak Ground Acceleration (PGA), Peak Ground Velocity (PGV) and Peak Ground Displacement (PGD).

In the building code the seismic action usually is represented by an elastic ground acceleration response spectra and the ground acceleration time-histories.

It should be noted that, each earthquake represents individual process, which is generated under certain geographic and geological conditions, its destructive effect first of all depends on the seismic source magnitude and the epicentral distance. The normalized elastic response spectrum shape or outlines of the spectral curves of dynamic coefficient depends on the earthquake generation mechanism and ground response in the site of interest. Therefore, the elastic response spectra defined according to the recorded accelerograms in different regions, differ from each other and reflect only local site conditions.

The time-histories dynamic analysis provides the evaluation of seismic demand of structures using the recorded and artificial or simulated accelerograms that give information on earthquake intensity, its frequency content and duration, i.e. it does not exclude time factor as it occurs in the response spectrum analysis.

Proceeding from the regulations on seismic action basic conception given in the [Eurocode 8, 1998-1:2004], selection of the elastic response spectrum shape in the country or part of the country is possible from the certain country National annexes that are worked out by local Authorities. In accordance with the recommendations suggested by Eurocode 8 deep geological data of the construction site should be considered and the horizontal and vertical elastic response spectra should be computed taking into account the seismic sources and the earthquake magnitudes generated from them.

In general, lack of the strong earthquake records statistic package creates certain problems for the elastic response spectra and the normalized dynamic coefficient spectral curves elaboration. Note that, an example of such problems is the capital of Georgia – Tbilisi city.

For Tbilisi city records of the strong earthquakes data are limited. During last 100 years at the territory of Tbilisi city about hundred weak earthquakes took place. Local strong earthquake occurred only on April 25, 2002, under the central part on the city with magnitude $M=4.5$ and recorded on the bedrock peak horizontal acceleration of $0,11g$, which was amplified to the range of 0.20 to $0.30g$ due to dynamic response of surface soil deposits.

It is evident that, on the basis of the weak and rare earthquakes real records formation of the seismic action specified regional model is impossible. In such conditions the most straightforward procedure is to generate ground motion time histories using of regional earthquake sources zones parameters and classification according to the soils seismological and geological properties spread at Tbilisi city territory.

At the same time, according to the Georgian building code ([Building Code, 2009] Tbilisi city is located in the seismic zone of intensity 8 degree by the MSK-64 scale, with a maximum horizontal acceleration equals $0.17g$ and a return period of earthquakes 2500 years (2%/in 50 years). The normalized spectral dynamic coefficient is determined for grounds of hard (I), medium (II) and soft (III) categories and without special investigations its maximum value for all three categories grounds is accepted equal to 2.5.

It should be noted, that from the earthquake source zones of Tbilisi region (within 50 km) at the territory of the city are expected the earthquakes with magnitudes $M=5.0-7.0$ and corresponding seismic generated kinematics of shifting as reverse and dextral strike slip. It follows from this that it is necessary to define more precisely given in the National code the normalized spectral curves of dynamic coefficient considering the data of Tbilisi region seismological and geological properties of the grounds spread at city territory. In such conditions it is important simulation of the expected regional spatial seismic action in the form of the acceleration time-histories and elaboration the acceleration elastic response spectra and the three components spectral curves of normalized dynamic coefficient for various sites of Tbilisi city.

The objective of this study is to develop a methodology for simulation ground motions and evaluation the three components of acceleration elastic response spectra and the three components normalized spectral curves of dynamic coefficient at any site for Tbilisi city territory considering the regional seismological characteristics and geological conditions for the site of interest.

The proposed approach includes three main topics: (i) the stochastic simulation of earthquake ground motion at a given site of the city of Tbilisi; (ii) estimation of acceleration time histories at a given site using the direct method of engineering seismology taking into account a soil properties based on the theory of the reflected waves (iii) calculation of the horizontal and vertical acceleration elastic response spectra and corresponding the normalized spectral curves of dynamic coefficient for main sites of Tbilisi city territory.

STOCHASTIC SIMULATION OF EARTHQUAKE GROUND MOTION

For simulation of possible seismic ground motions on the territory of Tbilisi city in this paper is employed the discrete nonstationary Gaussian stochastic process represented as [Rekvava and Mdivani, 2010]

$$A_{gi}(t) = E_i(t) X_i(t), \quad (1)$$

$$(i=1,2,3)$$

where $A_{gi}(t)$ determines of ground acceleration in the direction of three principal orthogonal axes with zero cross correlation between of components; $E_i(t)$ is the deterministic normalized envelope function or modulating function; $X_i(t)$ represents a typical realization of the stationary filtered white-noise process.

Normalized stationary random function with zero mean and unit-variance is characterized by $K(\tau)$ function of correlation as

$$K(\tau) = e^{-\alpha_j |\tau|} (\cos \omega_j \tau + \alpha_j / \omega_j \sin \omega_j |\tau|), \quad (2)$$

where $K(\tau)$ is correlation coefficient characterizing bandwidth of the process; w is circular process frequency; j represents a ordinal number of process.

The modulating function $E_i(t)$ is defined in terms of so-called Berlag impulse and with $|E_i(t)|_{\max} = 1$ is given by

$$E_i(t) = \varepsilon t \exp(1 - \varepsilon t), \quad (3)$$

where ε controls the shape of the envelope function and determines the effective duration and process nonstationarity.

Generalizing the form in (1), the horizontal and vertical components of the process can be written as

$$\begin{aligned} A_{g1}(t) &= \kappa \sigma_1 \varepsilon t \exp(1 - \varepsilon t) x_1(t) \\ A_{g2}(t) &= \eta \sigma_2 \varepsilon t \exp(1 - \varepsilon t) x_2(t) \\ A_{g3}(t) &= \nu \sigma_3 \varepsilon t \exp(1 - \varepsilon t) x_3(t), \end{aligned} \quad (4)$$

where s_i is a mean square value of acceleration in the direction of principal axes and denotes random process intensity that is defined by its variance; κ , η da ν are corrective factors of the value of the horizontal and vertical components which are accordingly equal to 1,0, 0,85 and 0,7.

Thus, the formulation in Eq.4 is completely determined with fixed values of dominant frequency w_j using three parameters: a , ε and s which are depended on regional seismological and geological conditions or in the simple form on the earthquake magnitude, hypocentral distance, dominant frequency and ground characteristics at the site.

On the basis of proposed stochastic ground motion model formulated in Eq.4 the software package ACCSIM [Rekvava and Mdivani, 2011, Rekvava, 2009], was developed, which allows to generate the multiple artificial accelerograms of the predicted earthquakes.

PARAMETERS ESTIMATION

For estimation of macroseismic intensity for territory of Tbilisi city from the earthquake sources zones of Tbilisi region the two various expressions are applied [Javakhishvili et al., 1998]:

for small earthquakes ($M_s < 6$)

$$I_{Tb} = 1,5M_s - 3,4 \lg R + 3,1 \quad (5)$$

for strong earthquakes ($M_s \geq 6$)

$$I_{Tb} = 1,5M_s - 4,7 \lg R + 4,0, \quad (6)$$

where M_s is surface-wave magnitude; $R = (\Delta^2 + h^2)^{1/2}$ is hypocentral distance; Δ is epicentral distance; h is focal depth.

The resulting equation for larger horizontal values of peak horizontal acceleration is defined by [Smit et al., 2000]

$$\log PGA_{hl} = 0,72 + 0,44M_s - \log R - 0,00231K + 0,28p \tag{7}$$

and

$$K = \sqrt{\Delta^2 + h^2 + 4.5^2}, \tag{8}$$

where p is 0 for 50-percentile values and 1 for 84-percentile.

Empirical relations between the surface-wave magnitude of the earthquake and a hypocentral distance derived for shallow-focus near-source earthquakes under an average soil site conditions are given by the following formula [Mikhailova and Aptikaev, 1996]

$$\lg T = 0,15M_s + 0,25 \lg R + C_1 + C_2 \pm 0,2, \tag{9}$$

where C_1 is parameter of fault mechanism ($C_1 = -0.1$ for reverse, $C_1 = 0$ for strike slip, $C_1 = 0.1$ for dextral strike slip); C_2 – coefficient of influence not taken into consideration factors that is equal to 1.11;

Duration of the ground motion is computed by

$$\lg D = 0,15M_s + 0,50 \lg R + C_1 + C_2 + C_3 \pm 0,30, \tag{10}$$

where C_1 – is parameter of fault mechanism ($C_1 = -0.25$ for reverse, $C_1 = 0.0$ for strike slip, $C_1 = -0.12$ for dextral strike slip); $C_2 = -0.15$ for hard ground; $C_2 = 0$ for medium ground; $C_2 = 0.15$ for soft ground; a mean value of ratio C_3 is equal to 1.3.

The calculated parameters for the borderline territory of Tbilisi city are listed in Table 1. It should be noted that for computation of PGA has been used 84-percentile. On the basis of empirical data the more intensive horizontal component of PGA_{h1} is obtained 1.28 times greater than other one and the vertical component is 2/3 of the maximum horizontal component.

Table 1.

Quantitative Characteristics of the Predicted Ground Motion on the Borderline of Tbilisi City

Zone ¹	R (km)	I _{TB} (deg)	T (sec)	D (sec)	PGA _{h1} (m/sec ²)	PGA _{h2} (m/sec ²)	PGA _{h3} (m/sec ²)
From focus with M=5							
2	10.6	7	0.13	1.63	2.11	1.65	1.41
5	8.38	7	0.12	1.45	2.20	1.72	1.47
From focus with M=5.5							
7	10.7	8	0.15	2.06	2.38	1.86	1.59
From focus with M=6							
4	11.2	8	0.18	2.66	2.53	1.98	1.69
6	10.0	8	0.18	2.51	2.57	2.01	1.72
8	16.0	7	0.2	3.18	2.38	1.86	1.67
From focus with M=6.5							
1	29.4	7	0.28	5.42	2.32	1.81	1.55
From focus with M=7							
3	16.3	9	0.28	5.08	2.81	2.20	1.88

For 10 sites of Tbilisi city territory (350 square kilometers) were also determined (Fig. 1) minimum hypocentral distances, PGA for 2% and 1% probabilities of being exceeded in 50 years, values of the dominant periods and duration of oscillation. As an illustration in Table 2 are given parameters generated from the high potential seismic generating zone #3 which is situated to the north-west of Tbilisi region. Note, that values of PGA in Table 2 correspond to 2% probability of being exceeded in 50 years and are by 15% less than computed for 1% probability of being exceeded in 50 years.

The main parameter ω_j of the ground motion model has been determined based on the Eq.9 using the expression:

$$\omega_j = 2\pi/T_j \quad (11)$$

The value of the correlation degree characterizing parameter α was evaluated based on the analysis of the Georgian earthquakes records data, [Rekvava and Mdivani, 2011] depending on w and for 1 (x), 2 (y) and 3 (z) components consists of

$$\alpha_{j1} = 0.204w_j; \alpha_{j2} = 0.253w_j; \alpha_{j3} = 0.41w_j; \quad (12)$$

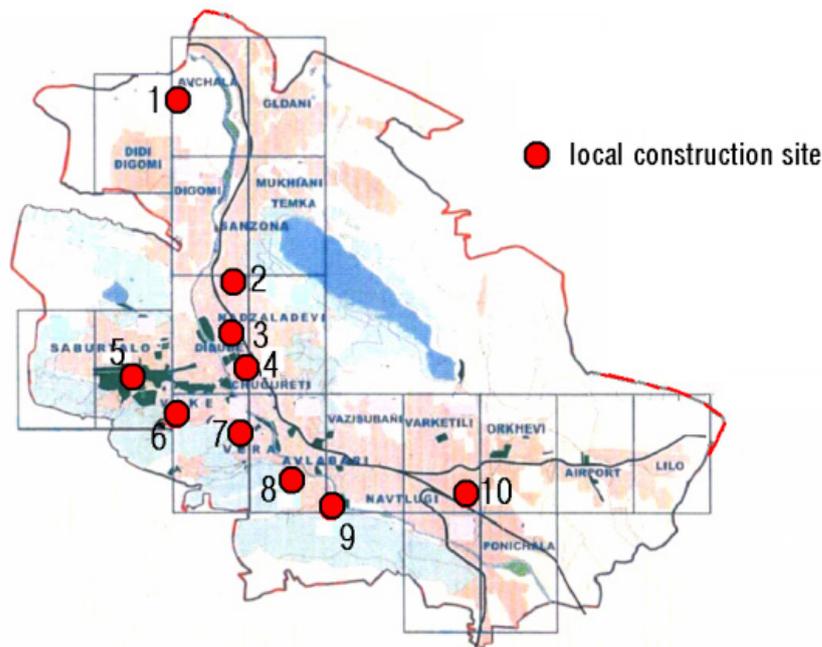


Figure 1. Location of the sites on the territory of the city

The mean square value of acceleration s was accepted considering that

$$\sigma_i = PGA_i/3, \quad i=1,2,3 \quad (13)$$

The parameter ϵ is determined on the basis of the given duration of intensive oscillations above-mentioned records and is equal to

$$\epsilon_j = 0.02\omega_j \quad (14)$$

Thus calculated parameters are represented in Table 3, but mean square values of the horizontal and vertical accelerations for earthquake generated from the high potential seismic generating zone №3 are given in Table 4.

Table 2.

Quantitative Characteristics of the Predicted Ground Motion for the Concrete Sites of Tbilisi City

Zone ¹	M	Parameters	Site ¹									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	7	R _{min} , km	15.6	20.0	21.2	23.3	18.1	21.6	25.1	26.8	30.0	33.7
		PGA _{h1} , (m/sec ²)	2.83	2.72	2.69	2.65	2.77	2.69	2.62	2.58	2.53	2.47
		PGA _{h2} , (m/sec ²)	2.21	2.13	2.10	2.07	2.16	2.10	2.04	2.02	1.98	1.93
		PGA _{h3} , (m/sec ²)	1.89	1.81	1.80	1.77	1.85	1.79	1.74	1.72	1.69	1.65
		T, sec	0.281	0.299	0.303	0.31	0.291	0.305	0.316	0.321	0.331	0.34
		D, sec	4.98	5.63	5.8	6.08	5.35	5.86	6.3	6.52	6.9	7.31

Table 3.

Parameters for Generation of Regional Synthetic Accelerograms

Zone ¹	ω_j sec ⁻¹	α_{j1} sec ⁻¹	α_{j2} sec ⁻¹	α_{j3} sec ⁻¹	ϵ_j sec ⁻¹	$\Delta t=0.04T_j$ sec
From focus with M=5						
2	48.3	9.85	12.1	19.8	0.97	0.005
5	52.3	10.67	13.1	21.4	1.05	0.0048
From focus with M=5.5						
7	41.8	8.53	10.5	17.1	0.84	0.006
From focus with M=6						
4	34.8	7.1	8.7	14.3	0.7	0.007
6	34.8	7.1	8.7	14.3	0.7	0.007
8	31.4	6.4	7.9	12.9	0.63	0.008
From focus with M=6.5						
1	22.4	4.5	5.6	9.2	0.45	0.011
From focus with M=7						
3	22.4	4.6	5.6	9.2	0.45	0.011

Table 4.

Mean Square Values of Accelerations for Concrete Sites from Zone 13

Mean square value of acceleration m/sec ²	Probability of exceeding in 50 years	Site ¹									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ_1	2% /50	94	91	90	88	92	90	87	84	84	82
	1% /50	109	104	103	102	106	103	100	97	97	95
σ_2	2% /50	73	71	70	69	72	70	68	67	66	64
	1% /50	85	81	81	79	83	80	78	77	76	74
σ_3	2% /50	63	60	60	59	62	60	58	57	56	55
	1% /50	72	70	69	68	71	69	67	66	65	63

DETERMINATION OF MULTILAYER GROUND MOTION BASED ON THE THEORY OF REFLECTED WAVES

Method of the multiple reflected waves gives a possibility to determine for a certain concrete territory by geologic profile conformity to natural laws of seismic oscillation of the multilayer ground surface, under motion of bedrock as foundation according a law of given accelerogram.

For analytical drawing of accelerogram of the ground surface oscillation let consider, a wave picture at any time in the ground area, with different thickness and horizontal borderline. It is accepted an assumption that the ground is elastic and waves are propagated in the vertical direction (Fig. 2). In the form of seismic influence in this case is used recorded on the bedrock accelerogram from the database of ground motions with known earthquake [Rekvava and Mdivani, 2011].

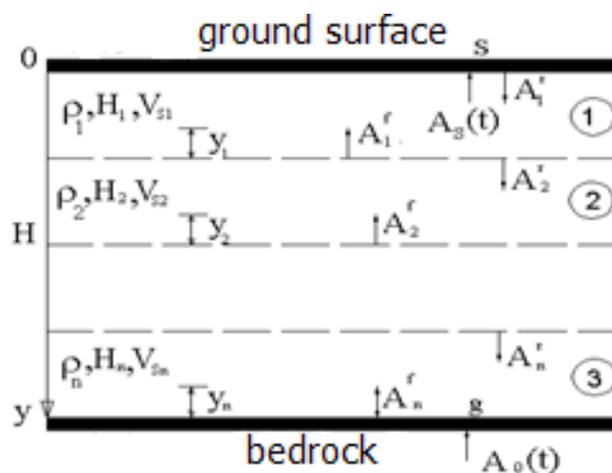


Figure 2. Design model of non-homogeneous ground

In the Fig. 2 are accepted following designations: $A_i^f(t)$ is value of the wave function at the t time on the bottom level of the i -th layer; $A_i^r(t)$ is value of the wave function at the t time on the top level of the i -th layer; $A_0(t)$ is the given relationship of the movement on the level of bedrock.

For any i -th layer of ground the wave equation of shear oscillations can be written as [Napetvaridze, 1973]:

$$\frac{\partial^2 A_i(t)}{\partial t^2} - V_{si}^2 \frac{\partial^2 A_i(t)}{\partial y^2} = 0, \quad (15)$$

where $A_i(t)$ is the displacement of ground i -th layer particles; t is the time; y represents the coordinate of particle oscillation in the vertical direction; V_s is the velocity of the shear wave propagation in the ground area.

Solution of the Eq.15 on the top of the i -th layer at the t time is given by

$$A_i^r(t) = \alpha_{i-1,i} A_{i-1}^r(t - \tau_{i-1}) + \beta_{i-1,i} A_{i-1}^f(t - \tau_i), \quad (16)$$

where $\alpha_{i-1,i}$ is the factor of refraction under passing of wave from $i-1$ -th to i -th layer; $\beta_{i-1,i}$ the factor of wave reflection on the borderline between i and $i-1$ layers; τ_i represents the time of wave passage in the i -th layer ($\tau_i = H_i / V_{si}$, where H_i and V_{si} are accordingly the thickness of ground layer and the velocity of the shear wave propagation in the i -th layer).

α and β factors are defined by

$$\alpha_{i-1,i} = 2\rho_{i-1}V_{s,i-1} / (\rho_{i-1}V_{s,i-1} + \rho_iV_{si}) \quad (17)$$

$$\beta_{i-1,i} = (V_{si}\rho_i - \rho_{i-1}V_{s,i-1}) / (V_{si}\rho_i + V_{s,i-1}\rho_{i-1}), \quad (18)$$

where ρ_i is a density of i -th ground layer.

Hence, finally solution of the direct problem of engineering seismology can be represented by the recurrent relations as [Napetvaridze, 1973]:

$$\begin{aligned}
 A_1^r(t) &= A_1^f(t - \tau_1), \\
 A_1^f(t) &= \alpha_{2,1} A_2^f(t - \tau_2) + \beta_{1,2} A_1^r(t - \tau_1), \\
 A_2^r(t) &= \alpha_{2,1} A_1^r(t - \tau_1) + \beta_{2,1} A_2^f(t - \tau_2), \\
 A_2^f(t) &= \alpha_{3,2} A_3^f(t - \tau_3) + \beta_{2,3} A_2^r(t - \tau_2), \\
 A_i^r(t) &= \alpha_{i-1,i} A_{i-1}^r(t - \tau_{i-1}) + \beta_{i,i-1} A_i^f(t - \tau_i), \\
 A_i^f(t) &= \alpha_{i+1,i} A_{i+1}^r(t - \tau_{i+1}) + \beta_{i,i+1} A_i^r(t - \tau_i), \\
 A_n^r(t) &= \alpha_{n-1,n} A_{n-1}^r(t - \tau_{n-1}) + \beta_{n,n-1} A_n^f(t - \tau_n), \\
 A_n^f(t) &= \alpha_{n+1,n} A_0(t) + \beta_{n,n+1} A_n^r(t - \tau_n).
 \end{aligned} \tag{19}$$

Value of the wave function from the bottom of i -th layer on the level of y_i can be calculated according to

$$A_i^{y_i}(t) = A_i^f(t - y_i / V_{si}) + A_i^r(t - (H_i - y_i) / V_{si}) \tag{20}$$

Thus, the developed algorithm of solution the direct problem of engineering seismology is realized by the software package GAFART [Rekvava and Mdivani, 2011].

SIMULATION RESULTS FOR TBILISI CITY SITES

The computer code ACCSIM was used for generation of the horizontal and vertical components of synthetic accelerograms corresponding possible seismic source zones of Tbilisi region, given in Table 1. Discrete step of the simulated accelerograms was taken equal to 0,04T. When assessing the probabilistic mean acceleration elastic response spectra and the normalized dynamic coefficient spectral curves for all sites, which are presented in Fig. 1, the required number of realizations was reduced for each synthetic accelerogram up to 20 realizations. The most novel aspect of this extension is elaboration of proper the three-components normalized dynamic coefficient spectral curves, which are computed for a 50 years exposure time and 2% and 1% probabilities of exceeding.

In Table 5 are represented values of the probabilistic mean normalized spectral dynamic coefficient of synthetic motion, generated from the source zones N3 and N6 for the sites situated in the centre of Tbilisi city.

As an example, Fig. 3 shows pairs of the probabilistic mean elastic acceleration response spectra for 5% damping and the corresponding spectral curve of normalized dynamic coefficient of synthetic motion, generated from the source zone N3, for site '18 of soft soil characteristics for 2% in 50 years.

Using the software GAFART was studied an influence of a typical earthquake and local geological conditions upon forming the elastic acceleration response spectra for the abovementioned sites. With that and in view from the data set, [Rekvava and Mdivani, 2011], was selected five recorded on the bedrock accelerograms (EL Centro-1940, $M = 6.7$, Santa Barbara-1980, Montenegro-1979, $M = 7.0$, Friuli 1976, $M = 6.0$, and Tbilisi-2002, $M = 4.5$), which are different from each other by parameters of PGA, dominant period and duration, but by the magnitude and epicentral distance are close to predicted earthquakes characteristics for Tbilisi region.

Considering the soil profile properties (thickness, density, shear wave velocity) of

Table 5.

Maximum Values of Normalized Dynamic Coefficient for 2%/50 and 1%/50 years

Zone ¹	M	Axes	Site ¹											
			N1		N2		N5		N7		N8		N10	
			β_{\max}		β_{\max}		β_{\max}		β_{\max}		β_{\max}		β_{\max}	
			2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%
3	7	x	2.5	2.7	2.4	2.5	2.5	2.8	2.4	3.0	2.5	3.0	2.4	2.6
		y	1.8	2.2	2.0	2.4	2.6	3.0	2.2	2.6	2.5	2.5	2.5	2.7
		z	2.2	3.0	2.7	3.0	1.8	3.0	2.1	2.2	2.6	2.8	1.8	2.3
6	6	x	2.6	3.0	2.0	2.9	3.0	3.7	2.4	2.5	2.6	3.2	2.3	2.5
		y	2.5	2.7	2.0	2.5	2.5	3.0	2.2	2.5	2.5	3.0	2.3	2.5
		z	3.0	3.4	2.5	2.7	2.7	3.0	3.3	3.5	2.5	2.8	2.0	2.5

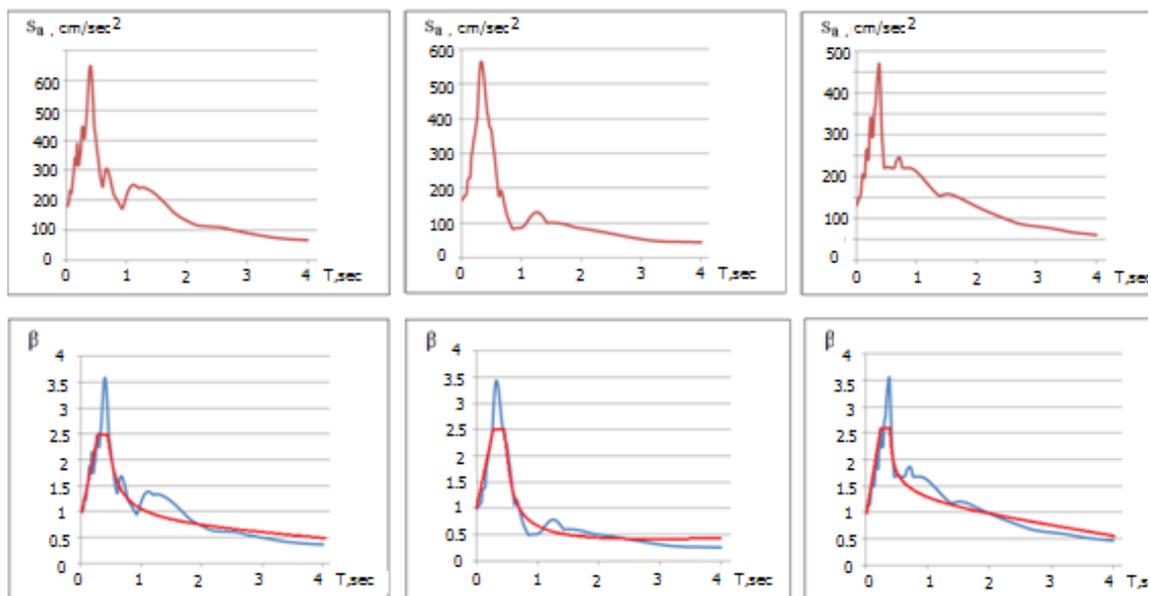


Figure 3. Generated from zone №3 for site №8 x,y,z components of acceleration response spectra (a) and spectral curves of normalized dynamic coefficient for 2% in 50 years.

these sites, received from geological test, on the basis of the abovementioned recorded ground motions were calculated the three components of time-histories on the ground surface of the sites. Then at the final phase of analysis the three components of spectral curves of normalized dynamic coefficient have been plotted. Table 6 displays the effect of local soil condition on the dynamic coefficient.

Fig. 4 displays the effect of local soil condition on the normalized dynamic coefficient for the concrete site¹ 8 under action of Tbilisi-2002 records.

According to the obtained results was computed value of the relative seismic factor or soil amplification factor as the ratio of the maximum accelerations of the ground surface layer to the bedrock. The analysis shows that in the given soil properties of the sites under investigation the seismic factor is changed from 1,5 to 2,6.

CONCLUSIONS

The complex approach of simulation ground motion and construction the horizontal

Table 6.

Maximum Values of Normalized Dynamic Coefficient from Different Earthquakes

1	Earthquake	Component	Site ¹					
			N1	N2	N5	N7	N8	N10
			β_{max}	β_{max}	β_{max}	β_{max}	β_{max}	β_{max}
1	EL Centro	x	2.2	3.0	3.0	2.5	3.0	2.5
		y	2.2	3.0	3.0	2.5	3.0	2.5
		z	2.2	3.0	3.0	2.5	3.0	2.5
2	Santa Barbara	x	2.7	3.5	4.0	3.0	2.5	2.7
		y	2.7	3.5	4.0	3.0	2.5	2.5
		z	2.7	3.5	4.0	3.0	2.5	2.4
3	Montenegro	x	2.5	3.5	2.5	3.0	4.0	2.5
		y	2.0	3.0	3.0	3.7	3.0	2.5
		z	3.0	2.5	2.7	3.0	2.0	3.0
4	Friuli	x	2.4	3.0	3.5	3.0	3.0	2.8
		y	2.7	3.3	3.0	2.8	2.5	2.7
		z	1.8	3.0	2.3	2.3	2.5	2.5
5	Tbilisi	x	2.5	2.0	2.1	2.5	2.3	2.3
		y	2.5	2.2	3.1	2.0	2.5	2.5
		z	2.3	2.3	2.4	3.0	2.1	2.2

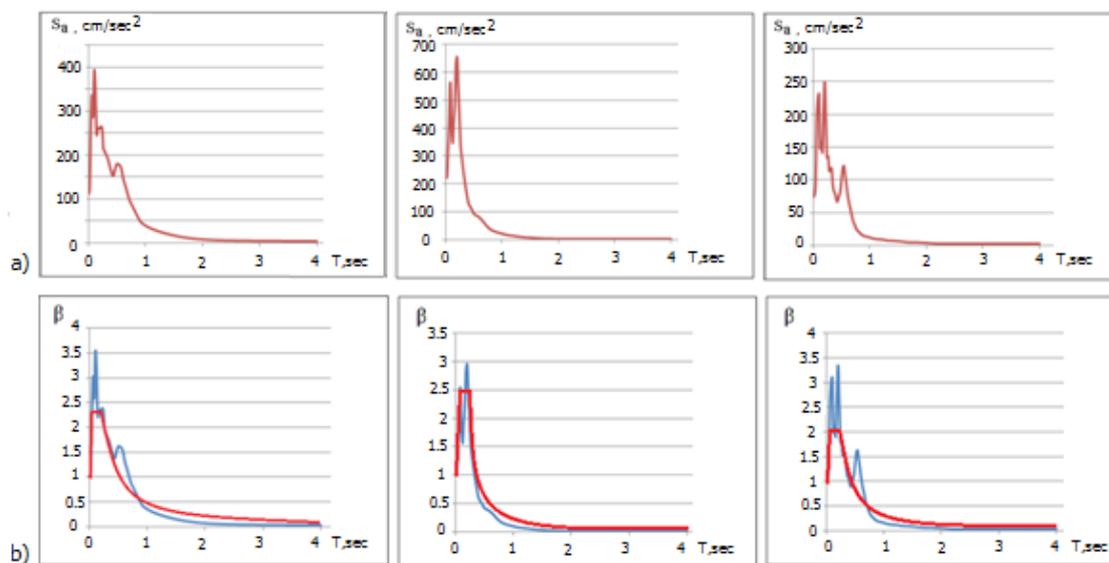


Figure 4. Three components acceleration response spectra (a) and spectral curves of normalized dynamic coefficient (b) for site №8 resulting from the accelerogram calculated at the free surface from recording «Tbilisi- 2002» of the depth $z=-43,1m$

and vertical acceleration elastic response spectra and corresponding normalized dynamic coefficient spectral curves are proposed, which account for the location of the earthquake source zones and seismological and geological characteristics of the Tbilisi region territory and concrete construction sites of the Tbilisi city.

Based on the empirical relations and characteristics of the earthquake source zones the values of mean accelerations of ground motion for 2%/ and 1% probabilities of being exceeded in 50 years expected in the sites of Tbilisi city has been determined and appropriate probabilistic horizontal and vertical acceleration elastic response spectra and normalized spectral dynamic coefficients are calculated which can be used in seismic design

and analysis of structures.

On the territory under examination for the concrete construction sites in result of experimental research the dynamic parameters of soil geological layers are determined and based on the theory of reflected waves the ground motion for the sites of Tbilisi city horizontal and vertical acceleration elastic response spectra and normalized spectral dynamic coefficients are calculated and their corrected shapes considering the local sites conditions for medium (II) and soft (III) categories of soil are constructed.

The value of the relative seismic factor as the ratio of the maximum accelerations of the ground surface layer to the bedrock, in the given soil properties of the sites under investigation, is changed from 1,5 to 2,6.

REFERENCES

1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, part 2: General rules, seismic actions and rules for buildings (European Standard EN 1998-1:2004)
2. Building Code (2009) «Earthquake Engineering PN 01.01-09», Georgian Ministry of Economic Development, Tbilisi, Georgia
3. Javakhishvili Z., Varazanashvili O., Butikashvili N. (1998) «Interpretation Macroseismic Valley of Georgia», *Journal of Georgian Geophysical Society* 3:85-8
4. Mikhailova N. and Aptikaev F. (1996) «Some Correlation Relations between Parameters of Seismic Motion», *Journal Of Earthquake Prediction Reserch* 5: 2, 257-263
5. Napetvaridze Sh. (1973) Some Problems of Engineering Seismology, Mecniereba, Tbilisi, Georgia
6. Rekvava P. (2009) Modern Earthquake Engineering, Intellect, Tbilisi, Georgia.
7. Rekvava P. and Mdivani K. (2010) «Modeling of Earthquake Ground Motion for Tbilisi Region», *Global Journal of Researches in Engineering. Revolutions in Engineering* 10: 3, 2-7
8. Rekvava P. and Mdivani, K. (2011) «Elaboration of the Seismic Influence Spatial Models for Performance-Based Design Considering Seismological and Engineering-Geological Conditions of Tbilisi Region» Georgian National Science Foundation, Grant N GNSF/ST08/7-484
9. Smit P., Arzumznian V., Javakhishvili Z., Arefiev S., Mayer-Rosa D., Balassanian S. and Chelidze T. (2000) «The Digital Accelerograph Network in the Caucasus», *Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction*, 109-118

НОРМИРОВАННОЕ УСКОРЕНИЕ СПЕКТРА РЕАКЦИИ ДЛЯ ГОРОДА ТБИЛИСИ С УЧЕТОМ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ

© 2014 П.А. Реквава¹, доктор наук, профессор, К. Мдивани², доктор наук

Грузинская национальная ассоциация сейсмостойкого строительства и инженерной сейсмологии, Тбилиси, Грузия, ¹rekvavapaata@yahoo.com; ²mdivanik@yahoo.com

Из-за отсутствия реальных записей сильных движений целью данного исследования является разработка методологии для быстрой генерации горизонтальных и вертикальных составляющих грунтовых движений землетрясения на любом участке для города Тбилиси. Модель, разработанная в результате исследования, обеспечивает имитацию движений грунта в широком диапазоне магнитуд и расстояний при 8 очагах землетрясений в регионе Тбилиси (в пределах 50 км).

Исследование включает в себя три основные темы: 1) стохастическое моделирование грунтовых движений при землетрясении для данного участка города Тбилиси; 2) оценка записей ускорения в данном участке, используя прямой метод инженерной сейсмологии, рассматривая грунтовые условия, основываясь на теории отраженных волн 3) расчет горизонтального и вертикального спектров упругой реакции ускорения для основных участков территории Тбилиси.

Ключевые слова: акселерограмма, ускорение, грунтовые движения.

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

МИХАИЛУ ЧОККАЕВИЧУ ЗАЛИХАНОВУ – 75!

Редакционная коллегия журнала «Геология и геофизика Юга России» горячо и сердечно поздравляет Михаила Чоккаевича Залиханова со славным юбилеем – 75-летием!

Михаил Чоккаевич прошел большой и интересный жизненный путь, начав свою трудовую деятельность с 1956 г. в должности коллектора Высокогорного геофизического института Росгидромета, научным руководителем которого сейчас являетесь. В разное время работал на высоких государственных постах: народным депутатом СССР, депутатом Государственной Думы трёх созывов, заместителем председателя Комитета по науке и образованию государственной Думы, председателем Комиссии по проблемам устойчивого развития России, Председателем Высшего Экологического Совета России, заместителем



председателя комитета по науке и наукоёмким технологиям, руководителем парламентской депутатской группы по атомной энергетике, членом президентской комиссии по ввозу и хранению отработанного ядерного топлива.

Михаил Чоккаевич является профессором физической географии, геофизики и геохимии ландшафтов, Почетным профессором Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и 25 других университетов России и зарубежных стран, академиком РАН, академиком Российской академии инженерных наук, Российской академии военных наук, Российской академии космонавтики и 13 других российских и международных академий. Автор 35 изобретений и более 400 научных трудов.

Вся сознательная жизнь Михаила Чоккаевича посвящена служению науке нашей Родины, которая высоко оценила заслуги: Герой Социалистического Труда, лауреат Премии Ленинского комсомола СССР (Ленинская молодёжная премия), лауреат Государственной премии и Премии Правительства Российской Федерации. Ордена Ленина, Красной Звезды, Дружбы народов, За заслуги перед Отечеством III и IV степеней и другими наградами. Вы – заслуженный деятель науки Дагестана, Чечено-Ингушской АССР, Северной Осетии, Карачаево-Черкессии, Кабардино-Балкарии, Почетный гражданин городов Махачкалы и Карачаевска. Его многосторонность восхищает: физик, эколог, инженер – строитель, политик, а также – ма-

стер спорта международного класса по альпинизму, неоднократный чемпион СССР и России!

Желаем Михаилу Чоккаевичу крепкого здоровья новых научных открытий, творческих успехов на благо России! Будьте счастливы Вы и Ваши близкие, друзья, коллеги. Пусть никогда не покидает Вас их теплота и внимание!

От имени редколлегии и коллег из геолого-геофизических учреждений Юга России.

Главный редактор,
д.ф.-м.н., профессор,
Заслуженный деятель науки РСО-А



В.Б. Заалишвили

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 полутоновых. 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
(№2. 2014г.)**

Подписано в печать 10.06.2014 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 9,9. 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.