ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА
2017, № 1

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.394

ОСНОВЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ СО СЛОЖНЫМИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА)

М.А. КИРИЧЕНКО[1], Т.В. ЛЮБИМОВА[2], В.В. ПЕНДИН[1]

[1]Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 23; e-mail: kirichenkoma@gmail.com,

[2]ФГБОУ ВО КубГУ
350040, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149; e-mail: TV-Luy@ya.ru, d_ggf@mail.ru

Исследована территория Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа с целью определения сложности и степени изменчивости инженерно-геологических условий как факторов изменения степени локальной сейсмической опасности. Выполнено комплексное изучение территории, определены основные инженерно-геологические факторы, определяющие специфику сейсмического микрорайонирования. Проанализированы инженерно-геологические и сейсмические свойства основных стратиграфо-генетических комплексов и инженерно-геологических элементов. Уточнено влияние грунтовых условий на сейсмическую интенсивность, выполнен расчёт величин приращения сейсмической интенсивности для типовых условий с помощью метода сейсмических жесткостей. Оценена пространственная изменчивость возможных величин приращения сейсмической интенсивности на участках с типовыми разрезами геостатистическими методами. Получена модель суммарной величины приращения сейсмической интенсивности на исследуемой территории. Установлено, что наиболее однородными по инженерно-геологическим и сейсмическим свойствам являются элементы ранга инженерно-геологических подрайонов и участков — аналог сейсмических микрорайонов.

Ключевые слова: сейсмическое микрорайонирование; приращение балльности; сейсмическая интенсивность; метод сейсмических жесткостей; инженерно-геологические условия; типовой разрез.

THE BASES OF SEISMIC MICROZONING OF THE TERRITORIES WITH DIFFICULT ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF THE BLACK SEA COAST OF NORTH-WEST CAUCASUS)

M.A. KIRICHENKO[1], T.V. LUYBIMOVA[2], V.V. PENDIN[1]

[1]Russian State Geological Prospecting University
117997, Russia, Moscow, Miklouho-Maklay's str., 23; e-mail: kirichenkoma@gmail.com

[2]Kuban State University, Krasnodar
350040, Russia, Krasnodar, Stavropolskaja str., 149; e-mail: TV-Luy@ya.ru, d_ggf@mail.ru

The paper considers the territory of the Black Sea coast of North-West Caucasus, to determine the complexity and the degree of variability of the engineering-geological conditions as factors of the degree of a local seismic hazard changing. A complex studying of the territory has been executed, the major engineering-geological factors defining the

specifics of microseismic zoning, have been defined. The engineering-geological and seismic properties of the main stratigraphic-genetic complexes and engineering-geological elements have been analyzed. An influence of the soil conditions on seismic intensity has been specified, a calculation of the sizes of an increment of the seismic intensity for the typical conditions by means of a method of seismic rigidities has been executed. An assessment of the spatial variability of the possible sizes of an increment of seismic intensity at the sites with standard geological sections by geostatistical methods has been made. A model of a total size of the increment of the seismic intensity in the explored territory has been developed. It has been established that elements of a rank of engineering-geological subdistricts and sites, which are an analog of seismic microdistricts, are the most uniform in engineering-geological and seismic properties.

Keywords: seismic microzoning; seismic intensity; method of seismic rigidities; engineering-geological condition; increment of seismic intensity; typical section.

Актуальность и постановка задачи. Сейсмическое микрорайонирование, как самостоятельный вид исследований, возник в середине 20-го в. К тому времени ряд исследователей В.О. Цшохер [12], С.В. Медведев [8], И.А. Гзелишвили [3] и А.Н. Сафарян [10] предложили разные способы сейсмического микрорайонирования, основанные на связи силы сейсмических воздействий на сооружения с грунтовыми и гидрогеологическими условиями и рельефом местности.

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) — вид оценки сейсмического риска. Задачей СМР является определение влияния инженерно-геологических условий на интенсивность сейсмических колебаний. Как правило, сейсмическое микрорайонирование начинается с уточнения исходной балльности территории по результатам обобщения данных прошедших землетрясений. Изучение инженерно-геологических условий является следующим этапом работ по сейсмическому микрорайонированию.

Общая характеристика территории. Изучаемая территория Черноморского побережья относится к геоморфологической провинции Большого Кавказа, входящей в область развития средневысотных структурно-денудационных гор на асимметрично-складчатых структурах, характеризуется расчленённым горным рельефом и принадлежит Афипско-Дефановской орографической ступени. Эта ступень ограничена на западе поперечным Геленджикским, а на востоке Туапсинским разломами, имеет преимущественно низкогорный рельеф с обширными депрессиями. В геологическом строении изучаемой площади участвуют породы верхнемелового и палеогенового возрастов, слагающие флишевую формацию. Флишевые отложения скальных грунтов подразделяются на терригенную (песчаники, алевролиты, аргиллиты) и карбонатную (песчаники, алевролиты, известняки, мергели) подформации. Осадочные толщи обладают выдержанной специфической ритмичностью строения. Флишевые (коренные) отложения перекрыты дисперсными грунтами, представленными наиболее распространёнными отложениями (суглинками, глинами, щебенистым и гравийно-галечниковым типами грунтов). На изучаемой площади развиты трещинные и поровые подземные воды. Трещинные воды распространены повсеместно в верхней части массивов флишевых пород. Водоносность отложений контролируется степенью их трещиноватости. Воды порового типа встречены повсеместно в долинах крупных рек и ручьев. Основным водоносным горизонтом в приповерхностной части геологического разреза является горизонт подземных вод, приуроченный к аллювиальным и аллювиально-пролювиальным отложениям. Общие сейсмические условия и повышенная сейсмичность определяются в соответствии с действующими картами общего сейсмического районирования (ОСР-2015)[1], максимально возможной интенсивностью землетрясений в 9 баллов — по данным карты ОСР-2015 В, С.

Таким образом, основными инженерно-геологическими факторами, определяющими специфику сейсмического микрорайонирования на территории Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа, являются:

1) широкое развитие субширотных и субмеридиональных дизъюнктивных деформаций, которые пересекаясь, образуют мозаичную блоковую структуру изученного района [6];

2) пёстрое литологическое строение верхней толщи разреза за счёт того, что отложения терригенного и карбонатного флиша перекрываются дисперсными четвертичными отложениями (элювиальными, делювиальными, коллювиальными, аллювиальными и аллюво-пролювиальными), слагающими верхнюю часть разреза [11];

3) исследуемая территория, согласно линеаментно-доменно-фокальной (ЛДФ) модели источников землетрясений, использованной при создании карт ОСР-2015, находится в пределах двух возможных зон очагов землетрясений (ВОЗ) с максимальной магнитудой 6,0 и 6,5, с глубиной сейсмоактивного слоя 10—45 км, в среднем 15—20 км.

Методика работ. Для определения сложности и степени изменчивости инженерно-геологических условий как факторов изменения степени локальной сейсмической опасности выполнено комплексное изучение территории:

1-й этап — уточнение инженерно-тектонического строения территории. В

[1] СП 14.13330.2014. «Строительсво в сейсмических районах СНиП II-7-81*». М., 2014, С. 106—108.

рамках этого этапа было выполнено построение карты разновысотных блоковых структур на основе морфометрического анализа, необходимой для определения сложности геолого-структурного строения района [4]; осуществлено уточнение границ сейсмически активных областей [7], а также произведено сравнение полученных результатов с картой неотектонического районирования Северо-Западного Кавказа [9].

Проанализированы инженерно-геологические и сейсмические свойства основных стратиграфо-генетических комплексов и инженерно-геологических элементов [5]. По справочным данным, данным лабораторных и геофизических исследований на изучаемой и прилегающих территориях определены минимальные, максимальные и средние или наиболее распространённые значения скоростей сейсмических волн и плотности грунтов (табл. 1, 2). Для скальных грунтов минимальные значения приравнивались к сильновыветрелым грунтам (усреднённая мощность от кровли принималась равной 1 м), максимальные значения к невыветрелым или слабовыветрелым (распространенными от подошвы средневыветрелых до глубины 30,0 м), и средние к средневыветрелым (усредненная мощность принималась равной 20,0 м) (табл. 1).

За инженерно-геологическую основу для выявления наиболее распространенных грунтов и их усреднённые мощности использовалась карта инженерно-геологического районирования (масштаба 1:50000) с представленными типовыми разрезами [11]. Всего на изучаемой территории выделены 22 типовых разреза по залеганию четвертичных отложений на коренных породах (карбонатного и терригенного флиша). Пример типового разреза и геолого-литологическая характеристика района водораздельных поверхностей приведены в табл. 3. На привлекаемых типовых разрезах скальные грунты разбиты на две подформации: карбонатная

Таблица 1

Значения скоростей и плотности коренных отложений по свитам

Отложения	Скорость продольных волн, V_p, м/с						Скорость поперечных волн, V_s, м/с			Плотность, г/см^3		
	Выше уровня подземных вод			Ниже уровня подземных вод								
	min	max	средняя	min	max	средняя	min	max	средняя	min	max	средняя
Свита Горячего Ключа (P_1gk)	737	3048	1855	1854	4185	2815	333	1656	975	1,98	2,59	2,32
Свита Цице (P_1cc)	818	3261	2008	1884	4590	2911	348	1842	1068	2,00	2,64	2,37
Анапская свита (P_1an)	779	4173	2372	2033	4780	3375	388	1921	1229	2,00	2,88	2,30
Навагирская свита (P_1nv)	866	4235	2469	2030	5140	3404	401	2115	1310	2,03	2,89	2,37
Свита Сукко (P_1sk)	995	4055	2476	1984	5565	3291	410	2375	1388	2,08	2,84	2,49
Снегуревская свита (K_2sn)	1065	3955	2482	1974	5765	3225	404	2447	1384	2,10	2,81	2,53
Васильевская свита (K_2vs)	1070	3970	2488	1976	5760	3230	406	2458	1391	2,11	2,81	2,54
Лихтеровская свита (K_2lh)	1081	4005	2502	1980	5740	3243	411	2483	1408	2,12	2,82	2,55

Примечание. min — сильновыветрелая зона, max — невыветрелая или слабовыветрелая зона, средние значения — средневыветрелая зона.

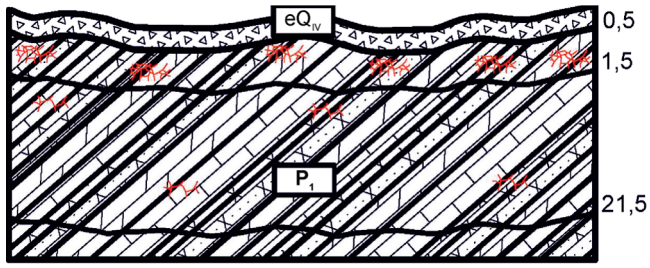
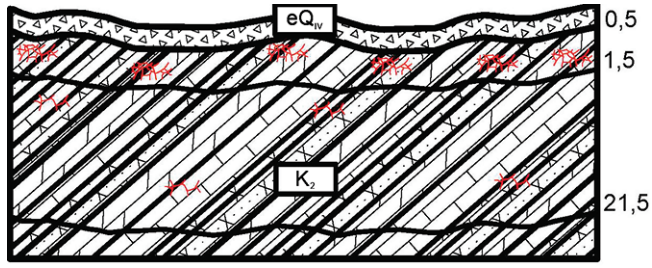
Таблица 2

Значения скоростей и плотности четвертичных отложений

Отложения	Скорость продольных волн, V_p, м/с		Скорость поперечных волн, V_s, м/с	Плотность, , г/см^3
	Выше уровня подземных вод	Ниже уровня подземных вод		
Делювиальные отложения, dQ_{IV} (суглинки с щебнем и дресвой)	650	1700	300	1,95
Делювиальные отложения, dQ_{IV} (глины с щебнем и дресвой)	700	1800	350	2,00
Элювиальные отложения eQ_{IV} (дресвяно-щебенистый грунт с глинистым заполнителем <30%)	760	1900	350	2,20
Пролювиальные отложения pQ_{IV} (суглинки полутвердые/ тугопластичные)	650	1700	300	1,95
Пролювиальные отложения pQ_{IV} (суглинки мягкопластичные/ текучепластичные)	280	1450	100	1,7
Аллювиальные отложения aQ_{IV} (галечниковый грунт с глинистым заполнителем <30%)	750	2300	500	2,21
Древнеэвксинская (Криницкая, Мокшанская) морская терраса (Q_{pkr})	858	2045	517	2,02
Узунларская (Пшадская) морская терраса (Q_{ppsh})	1008	2083	612	2,04

Таблица 3

Фрагмент легенды карты инженерно-геологического районирования (пример типового разреза)

I — Инженерно-геологический регион — НОВОРОССИЙСКИЙ СИНКЛИНОРИЙ I-А — Инженерно-геологическая область — Среднегорного эрозионно-тектонического рельефа			
Район	Геолого-литологическая характеристика подрайонов	Схематический типовой разрез	Глубина залегания грунтовых вод
I-А-1- Район водораздельных поверхностей	I-А-1а — подрайон распространения элювиальных отложений (щебень, дресва), мощностью 0,1—0,7 м, на субстрате коренных пород флишевой терригенной формации		Спорадическое распространение п/в на глубине 15,0 м и более
	I-А-1б — подрайон распространения элювиальных отложений (щебень, дресва), мощностью 0,1—0,7 м, на субстрате коренных пород карбонатной формации		

и терригенная. Каждая подформация в разрезе сложена флишевыми циклитами свит. Для расчётов принимались значения инженерно-геологических и сейсмических свойств по свитам (табл. 1).

2-й этап — уточнение влияния грунтовых условий на сейсмическую интенсивность. Выполнен расчёт величин приращения сейсмической интенсивности для типовых условий с помощью метода сейсмических жесткостей по уравнению Медведева с поправкой и без таковой на уровень грунтовых вод[2]. Были рассчитаны величины приращения балльности для 30-метровой[3] и 10-метровой[4] толщ грунтов с поверхности по скоростям продольных и поперечных волн.

Формула Медведева, используемая для приращения балльности, в современных нормативных документах следующая:

$$I = Ic + Iв + Iрез,$$

где I — суммарное приращение сейсмической интенсивности (в баллах) относительно исходной (фоновой) балльности; Ic — приращение сейсмической интенсивности за счёт различия грунтовых условий; $Iв$ — приращение сейсмической интенсивности за счёт ухудшения сейсмических свойств грунтов на изучаемом участке при обводнении (водонасыщении), $Iрез$ — приращение сейсмической интенсивности за счёт возможного возникновения резонансных явлений при резком различии сейсмических жесткостей в покрывающей и подстилающей толще пород изучаемого разреза.

Приращение сейсмической интенсивности за счёт различия грунтовых условий определяется логарифмическим отношением исследуемой толщи грунтов к эталонному грунту. В качестве эталонного грунта послужили массивы скальных грунтов, выходящие на поверхность. Для района распространения карбонатной флишевой формации (верхнемеловые отложения) эталонным грунтом послужили отложения лихтеровской свиты. Для района распространения терригенной флишевой формации (палеогеновые отложения) эталонным грунтом послужили отложения навагирской свиты.

Согласно РСН 60-86, при выборе эталонным грунтом — скальных грунтов, исходная балльность понижается на единицу. Таким образом, максимальную интенсивность землетрясении (9 баллов по карте ОСР-2015 В) понижаем на единицу и за исходный балл принимаем 8 баллов.

[2] РСМ-73 Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию. // Сб.: Влияние грунтов на интенсивность сейсмических колебаний (Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 15). М.: Наука, 1973. С. 6—34.
[3] СП 14.13330.2014, примечание 2 к табл. 1.
[4] РСН 60-86 Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. Госстрой РСФСР. М., 1986, С. 15, п. 3.12.

Поправка на уровень грунтовых вод, согласно последним исследованиям [1], была применена только для расчёта приращений сейсмической интенсивности по продольным волнам, поскольку скорость поперечных волн не изменяется при прохождении границы распространения подземных вод, а скорость продольных волн возрастает в 1,5 — 3,0 раза.

Приращение сейсмической интенсивности за счёт возможного возникновения резонансных явлений учитывается, когда в пределах исследуемой толщи грунтов могут возникнуть резонансные явления при резком различии сейсмических жесткостей в покрывающей и подстилающей толще пород, т. е. при наличии в разрезе слоя глинистых, песчанистых и крупнообломочных грунтов, залегающих на скальном основании. Данная ситуация характерна для изучаемого участка Черноморского побережья.

Согласно РБ 006-98[5], если сооружение будет иметь собственные частоты, близкие к резонансной частоте, то суммарное приращение сейсмической интенсивности с учётом резонанса можно определить по формуле:

$$I \quad 3{,}32 \ \lg \frac{{}_{э}V_{э}}{{}_{i}V_{i}} \qquad K \ e^{\,0{,}04\,h^{2}},$$

где ${}_{э}V_{э}$ и ${}_{i}V_{i}$ — сейсмические жесткости эталонного (э) и исследуемого (*i*) грунта, т/м^2 · с; K — коэффициент, зависящий от литологического состава грунтов; h — расчётное положение уровня грунтовых вод, м.

3-й этап — оценка пространственной изменчивости возможных величин приращения сейсмической интенсивности геостатистическими методами. На основании карты инженерно-геологического районирования и величин приращения балльности по типовым разрезам с усредненными мощностями была построена схематическая карта сейсмического микрорайонирования (рис. 1, 2) с прогнозируемой интенсивностью в баллах.

Обсуждение результатов

1. Карта разновысотных блоковых структур показала сложность инженерно-тектонического строения территории. Выделенные нарушения существенно уточнили границы основных разрывных структур, показанных на карте С.А. Несмеянова [9]. Выделенные инженерно-тектонические блоки обладают сложным сочетанием и, следовательно, возможно разной геодинамической активностью [7]. Так, наибольшего внимания заслуживают участки с максимальной дифференцированностью и контрастностью тектонических движений. Такими участками на данной территории следует считать те, где между абсолютными отметками на смежных блоках зафиксирован большой перепад высот.

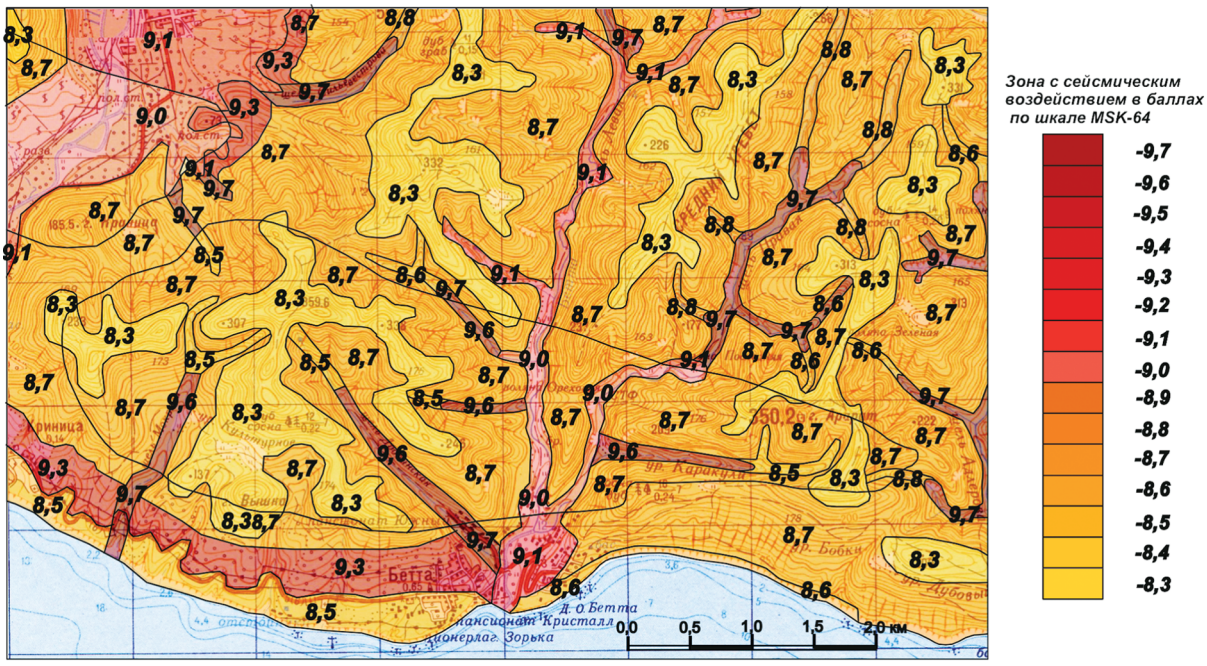


Рис. 1. Фрагмент схематической карты сейсмического микрорайонирования с усредненными показателями значений балльности по шкале МСК-64

[5] РБ 006-98 Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ. М.: НТЦ ЯРБ, 2000. 58 с.

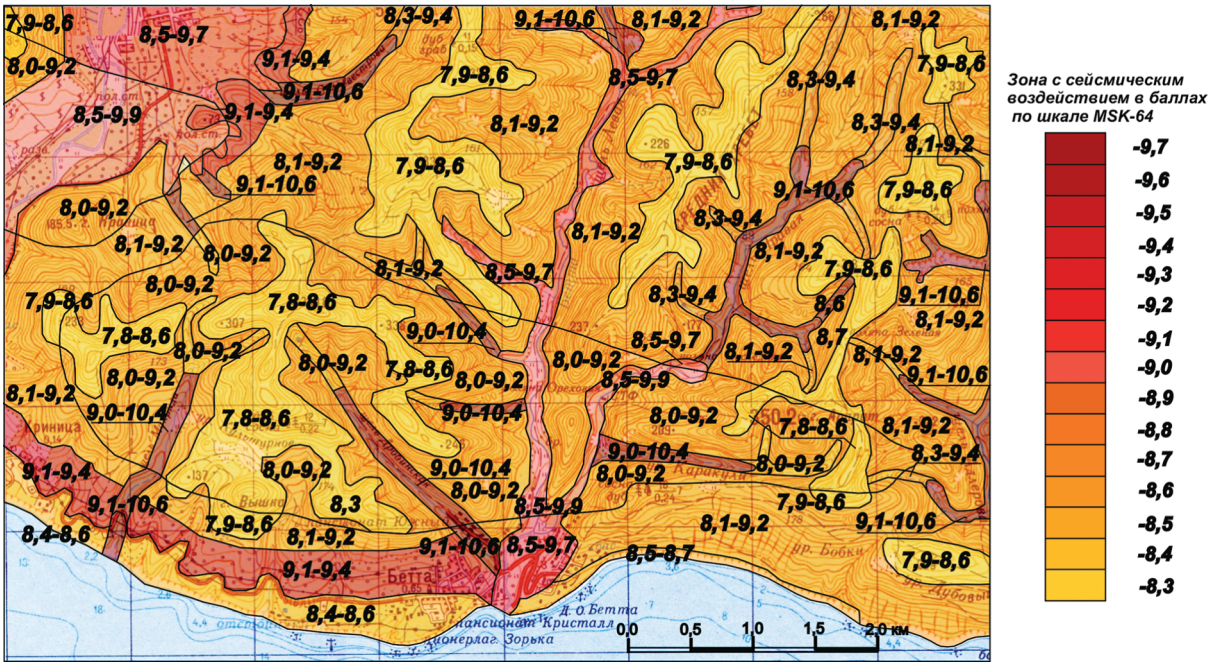


Рис. 2. Фрагмент схематической карты сейсмического микрорайонирования с показателем интервала значений балльности по шкале МСК-64

Установлена изменчивость инженерно-геологических свойств грунтов: для скальных грунтов — по литологическому составу, и по степени выветрелости (табл. 1), для глинистых грунтов — по консистенции; для крупнообломочных грунтов — по гранулометрическому составу, количеству песчано-глинистого заполнителя (табл. 4). Выделены однородные по инженерно-геологическим свойствам элементы.

Привлечение данных по ритмичности и процентном соотношении горных пород флишевой формации [2] позволило определить средневзвешенные значения скоростей поперечных и продольных волн и плотности по массивам скальных

Таблица 4

Свойства грунтов, усредненные или наиболее распространенные значения

Типы отложений	Разновидности грунтов	Скорость продольных волн, V_p, м/с		Скорость поперечных волн, V_s, м/с	Плотность, , г/см^3
		Выше уровня подземных вод	Ниже уровня подземных вод		
Скальные терригенные	Песчаник	2400	3500	1600	250
	Алевролит	2300	3300	1200	240
	Аргиллит	2500	3500	1300	2,05
	Глина	1100	2000	370	2,30
Скальные карбонатные	Мергель	2500	3200	1400	2,55
	Известняк	2700	3500	1650	2,65
Дисперсные	Супесь твердая	500	1650	250	1,80
	Супесь пластичная	250	1300	100	1,65
	Суглинок твердый/полутвердый	650	1700	300	1,95
	Суглинок мягкопластичный/текучепластичный	280	1450	100	1,70
	Глина твердая/полутвердая	700	1800	350	2,00
	Глина мягкопластичная/текучепластичная	300	1500	100	1,80
	Галечниковый грунт с песчаным заполнителем	900	2850	450	2,15
	Галечниковый грунт с глинистым заполнителем	1050	3000	550	2,17
	Галечниковый грунт	600	2300	400	2,20
	Песок	700	1700	370	1,75
	Щебенисто-дресвяный грунт с заполнителем менее 30% (элювиальная зона)	760	2850	300	2,20
	Щебенисто-дресвяный грунт с глинистым заполнителем более 40 % (деллювиальные отложения) или суглинки с щебнем до 45—50 %	650	2750	300	2,10

горных пород в отложениях разного возраста (по свитам) (табл. 1).

2. В результате всех расчётов получена модель суммарной величины приращения сейсмической интенсивности на исследуемой территории.

3. По данным типолого-оценочного районирования установлено, что наиболее однородными по инженерно-геологическим и сейсмическим свойствам являются элементы ранга инженерно-геологических подрайонов и участков — аналог сейсмических микрорайонов.

При расчёте приращения балльности по разным скоростям (V_s, V_p) и для разных глубин (10 и 30 м) установлены различия в значениях итоговой балльности для одного и того же типового разреза. В итоге были построены две картографические модели сейсмического микрорайонирования: по усредненным значениям балльности (рис. 1) и карта с интервалами значений (рис. 2).

Выводы

Предложенная уточнённая методика специального комплексного (типолого-оценочного) инженерно-геологического районирования позволяет в условиях наличия ограниченных объёмов инструментальной сейсмологической информации выделять однородные по инженерно-геологическим условиям элементы, определять степень их однородности и выполнять по ним оценку степени локальной сейсмической опасности с учётом существующих теоретических основ сейсмического микрорайонирования.

Разработка и уточнение инженерно-геологических основ СМР могут быть выполнены на базе методов вероятностного инженерно-геологического моделирования и пространственного анализа с учётом теоретических и эмпирических основ сейсмического микрорайонирования. Составленные схематические карты, кроме обоснования СМР, могут использоваться при выборе участков для строительства, создании сети сейсмологических инструментальных наблюдений, при разработке районных планировок, схем инженерной защиты территорий и сооружений от опасных геологических процессов.

Однако данная методика ставит вопрос, связанный с изменчивостью значения приращения балльности для одних и тех же грунтовых условий, но с разными переменными по скоростям и по глубине измерений (балльность может варьировать в пределах до 1 балла).

Если использовать усредненное значение, то мы не учтём места, где сейсмический эффект может быть более значим. Если минимальное — то удешевим строительство, но увеличим риск возможного превышения балльности при сильном землетрясении. А если брать максимальное, то возможно необоснованно удорожим строительство. Поэтому следующим шагом в развитии данной тематики будет комплексная количественная оценка инженерно-геологических условий, при которой будет определено оптимальное приращение балльности для конкретных условий исследуемой территории южного склона Северо-Западного Кавказа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин А.С. Макросейсмические основы сейсмического микрорайонирования // Вопросы инженерной сейсмологии. М., 2011. Том 38. № 4. С. 15–28.
2. Афанасьев С.Л. Флишевая формация. Закономерности строения и условия образования. М.: Росвузнаука, 1993. 360 с.
3. Гзелишвили И.А. Сейсмическое микрорайонирование г. Тбилиси // Сообщения АН Груз. ССР. 1946. Т. VII. № 4. С. 50–58.
4. Кириченко М.А., Бондаренко Н.А. Оценка инженерно-геологических условий Черноморского побережья Кавказа на основе морфотектонического анализа // Геология, география и глобальная энергия. 2007. № 1. С. 107–109.
5. Кириченко М.А., Пендин В.В. Разработка научно-методических основ оценки сейсмического риска на примере южного склона Северо-Западного Кавказа // Мат. 1-й региональной научно-практической конференции «Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи». Геленджик, 2014. С. 207–211.
6. Любимова Т.В., Бондаренко Н.А., Кириченко М.А. Оценка приповерхностных разрывных структур и выявление наиболее общих критериев сейсмичности // Геология, география и глобальная энергия. 2008. № 4. С. 43–46.
7. Любимова Т.В., Бондаренко Н.А., Куропаткина Т.Н., Кириченко М.А. Инженерно-геологические условия Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа. Краснодар: Просвещение-Юг, 2009. 101 с.
8. Медведев С.В. Оценка сейсмической балльности в зависимости от грунтовых условий // Труды Геофизического института. М., 1952. № 14. С. 29–52
9. Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа. М., 1995. 254 с.
10. Сафарян А.Н. О методике сейсмического районирования и микрорайонирования // Труды ин-та строит. дела АН Груз. ССР. 1957. Вып. VI. С. 95–99.
11. Славинская М.Ю. Особенности инженерно-геологического районирования Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа // XV Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». Томск, 2011. С. 122–123
12. Цшохер В.О. Сейсмика в проблемах планировки городов // Труды физико-тех. ин-та Туркменского филиала АН СССР, Ашхабад. 1949. С. 175–194.