Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 2 (68). №2. 2016 г. С. 124–153.

РАЗДЕЛ З.

ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ

УДК. 550. 343

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА В ПОСЕЛКЕ СМОЛИНО КИРОВОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Пустовитенко Б. Г., Скляр А. А., Останин А. М.

Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация E-mail: bpustovitenko@mail.ru

Проведена количественная оценка прогнозной сейсмической опасности площадки проектируемого завода по производству ядерного топлива в поселке городского типа Смолино с использованием методики долгосрочного прогноза сейсмической опасности, основанной на вероятностнодетерминированных моделях. Разработана прогнозная модель сейсмического эффекта для средних грунтовых условий для разных периодов повторяемости и вероятностей повышения расчетных величин в течение 50 лет.

Ключевые слова: землетрясение, интенсивность, нормативная сейсмичность, сейсмическая опасность, сейсмическое микрорайонирование, геологическое строение, инженерно-геологические условия, затухание.

введение

В 2012 году Отделом сейсмологии Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины (ныне институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского») были проведены комплексные исследования по оценке степени сейсмической опасности территории проектируемого завода по производству ядерного топлива в пгт. Смолино Маловисковского района Кировоградской области [1].

Необходимость выполнения полномасштабных комплексных работ на была обусловлена особой ответственностью и опасностью площадке проектируемого объекта, разрушение которого от сейсмических воздействий может привести к тяжелым социально-экономическим и экологическим последствиям. В соответствии с действующим в Украине нормативным документом по строительству ДБН В.1.1:12-2006 [2], а также требованиями МАГАТЭ [3], расчетная сейсмичность площадок строительства объектов атомной энергетики производилась на основании результатов оценок проектного (ПЗ) и максимально расчетного землетрясения (MP3) по результатам детального районирования и сейсмического микрорайонирования (СМР).

Цель исследований состояла в уточнении исходной (нормативной) сейсмической опасности для периодов повторяемости T = 500, 1000, 5000 и 10000 лет с учетом локальных инженерно-геологических условий исследуемой территории

и определении параметров, необходимых для расчета сейсмической устойчивости проектируемого завода.

В процессе выполнения данной работы получены новые научные результаты и выводы, имеющие значение для совершенствования методических подходов оценки сейсмических воздействий на экологически опасные объекты и новые знания для их практического применения. Материалы публикуются впервые.

1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА РАБОТ

По геоструктурному положению территория строительства объекта находится в центральной части Украинского щита у западной границы Кировоградского (Ингульского) мегаблока [4]. Разрывная тектоника района исследований представлена широким спектром разломов различного ранга и простирания. Непосредственно вблизи площадки выделены Западно-Курниковский (400 м западнее) и Восточно-Курниковский (350 м восточнее) разломы III порядка (Рис. 1), входящие в состав Анновско-Звенигородской диагональной зоны разломов [5]. Эти разломы выражены гидротермальной проработкой. перекристаллизацией, метаморфизмом исходных пород, имеют меридиональное простирание, крутое (65–75°) падение к западу и протяженность 20–30 км. Между Западно-Курниковским и Восточно-Курниковским разломами, где расположен участок проектируемого строительства, тектонических нарушений, представляющих сейсмическую опасность, не установлено.

В *геологическом строении* участка проектируемого строительства принимают участие кристаллические породы докембрия, перекрытые корой выветривания и осадочными отложениями неогеновой и четвертичной систем [6].

Докембрий представлен в основном гранитами крупнозернистыми темносерыми, серыми, сильно выветрелыми, в нижней чести слабовыветрелыми, трещиноватыми, вскрытыми на глубине 48.3 м в центральной части территории.

Кайнозойская кора выветривания мощностью 15.4 м развита в кровле докембрийских кристаллических пород и представлена суглинком с прослоями супеси, в подошве – дресвяно-щебенистым грунтом.

Отложения неогеновой системы (сарматский ярус) в пределах исследуемой территории распространены повсеместно. Сложены снизу-вверх: песком пылеватым мощностью 3.0–9.6 м; глиной мощностью 0.3–1.4 м; суглинком с прослоями супеси и песка мощностью 0.4–6.0 м.

Верхненеоген-нижнечетвертичные отложения распространены повсеместно и представлены глиной, реже суглинком мощностью 5.5–9.8 м, залегающими на неогеновых отложениях.

Четвертичная система представлена эолово-делювиальными лессовыми суглинками и глинами Днепровского, Кайдакско-Витачевского, Бугского и Причерноморского горизонтов среднего и верхнего отделов общей мощностью до 4.8 м, а также почвенно-растительным слоем современного отдела мощностью от 0.3 до 1.2 м.



Рис.1. Тектоническая схема территории по [1].

Рассмотрим рисунок 1: в центре – участок строительства проектируемого объекта. 1 – граниты березовские аляскитовидные и биотитовые, плагиоклазмикроклиновые, микроклиновые светло-серые среднезернистые, слабо порфиробластовые; 2 – мигматиты преимущественно теневые биотит-плагио-клазмикроклиновые, реже амфибол- и пироксенсодержащие, лейкократовые и меланократов; 3 – граниты пегматоидные, аплит-пегматоидные, плагиоклазмикроклиновые, микроклиновые; 4 – щелочные метасоматические породы, альбититы, альбит-микроклиновые сиениты, 5 – тектонические нарушения; 6 – зоны интенсивного катаклаза; 7 – границы участка работ.

Палеозой

Гидрогеологические условия исследуемой территории характеризуются наличием водоносного горизонта в неогеновых отложениях. Горизонт вскрыт инженерно-геологическими скважинами в центральной и восточной частях участка проектируемого завода. Водовмещающими породами являются пески пылеватые, а

также частично суглинок с прослоями супеси и песка пылеватого. Уровень подземных вод на период изысканий залегал на глубине от 15.5 до 22.8 м. Водоносный горизонт безнапорный. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и притока из смежных горизонтов. Основная разгрузка происходит в нижележащий горизонт кристаллических пород докембрия.

Территория проектируемого строительства по природным условиям является подтапливаемой в связи с наличием в верхней части инженерно-геологического разреза проницаемых фильтрационно-анизотропных лессовых суглинков средневерхнечетвертичного возраста, залегающих на относительно водоупорных верхненеоген-нижнечетвертичных красно-бурых глинах и суглинках.

По физико-механическим свойствам в верхней части геологического разреза рассматриваемой территории, оказывающей основное влияние на приращение сейсмической интенсивности, преобладают грунты *II категории* по сейсмическим свойствам, представленные в основном верхненеоген-нижнечетвертичными глинами, реже суглинками, мощностью 5.5–9.8 м [7].

К неблагоприятным в сейсмическом отношении факторам, распространенным на участке проектируемого строительства, относятся: наличие в верхней части разреза просадочных суглинков, а также подъем уровня грунтовых вод, прогнозируемый в процессе эксплуатации завода.

2. СЕЙСМИЧНОСТЬ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ РАЙОНА РАБОТ

Поселок городского типа Смолино расположен в сейсмически активной и сейсмически опасной зоне Украины [8]. Потенциально опасными для исследуемой территории являются землетрясения зоны Вранча, Крымско-Черноморского региона, района Добруджи и местных сейсмотектонических структур Украинского кристаллического щита (УЩ).

Основную сейсмическую опасность для рассматриваемой территории представляют подкоровые землетрясения, очаги которых расположены в области сочленения Восточных и Южных Карпат с Предкарпатским прогибом (зона Вранча в Румынии) и местная сейсмичность УЩ.

Землетрясения очаговой зоны Вранча возникают сравнительно часто. За второе тысячелетие известно 40 разрушительных землетрясений с $M \ge 6.0$ и интенсивностью в эпицентре $I_0 \ge 8.0$ баллов по шкале MSK-64 [9–12]. Самое сильное из них произошло в 1446 году с магнитудой M = 7.6 [9]. Здесь и далее значения магнитуд приведены по поверхностным волнам ($M_{\rm LH}$).

Согласно историческим данным землетрясения 06.04.1790 и 26.10.1802 гг. вызвали в районе п.г.т. Смолино шестибалльные сотрясения, а последние по времени сильные землетрясения из этой зоны (11.10.1940, 04.03.1977, 30.08.1986, 30.05.1990 и 31.05.1990 гг.) – пятибалльные сотрясения (Рис. 2).

Направление сейсмических воздействий от землетрясений зоны Вранча на территорию размещения завода составляет: $Az = 46^{\circ}$.

Особенностью сильных землетрясений зоны Вранча является большая глубина очагов в диапазоне h = 80-160 км с преобладанием их количества и максимальной

выделенной энергии в литосферном слое $h = 140 \div 160$ км [13]. Увеличение магнитуд с глубиной очага связано с ростом объема сейсмогенного слоя, способного создавать землетрясения подобной магнитуды. Второй максимум выделяется на глубинах h = 110 км. Из-за большой глубины очагов сильных землетрясений область разрушительных и ощутимых воздействий простирается на значительные расстояния. Сейсмический потенциал зоны Вранча, оцененный комплексом методов и разными авторами [13], максимальной магнитуде M = 8.0.

Для сильных землетрясений этой зоны характерными являются взбрососдвиговые и надвиговые подвижки в очагах с ориентацией нодальных плоскостей в северо-восточном направлении [14; 15]. Три последних разрушительных землетрясения 04.03.1977 г., 30.08.1986 г. и 30.05.1990 г. имели близкие механизмы очага: надвиги с незначительной сдвиговой компонентой. При этом одни из плоскостей имели крутое падение с азимутом простирания $STK1 = 33^\circ \div 50^\circ$, а другие – пологое с $STK2 = 55^\circ \div 62^\circ (235^\circ \div 242^\circ)$.



Рис.2. Карта изосейст сильных землетрясений очаговой зоны Вранча в районе размещения проектируемого строительства. На изосейстах цифры: в числителе – интенсивность *I*, в знаменателе – дата землетрясения.

Участок проектируемого строительства по отношению в очаговой зоне Вранча находится в $Az = 46^{\circ}$, т. е. в азимутальном створе ориентации нодальной плоскости

STK1. В соответствии с теорией дислокации вдоль простирания разрыва амплитуды в продольных *P*-волнах минимальные. Исходя из решения механизмов очагов 3-х указанных выше землетрясений, получены следующие значения функций направленности излучения из очага на объект строительства: для *P*-волн: $R_{\theta\phi} = 0.021 \div 0.026$; для *S*-волн: $R_{\theta\phi} = 0.32 \div 0.34$ [1].

Таким образом, основной вклад в сейсмические воздействия на район размещения проектируемого завода будут оказывать поперечные (сдвиговые) волны *S*, амплитуды которых на порядок выше продольных *P*-волн.

Землетрясения **Крымско-Черноморского региона** оказывают меньшее сейсмическое воздействие на территорию объекта, чем зоны Вранча. Наиболее опасные для исследуемой площадки очаги землетрясений располагаются в земной коре преимущественно на глубинах 15–20 км акватории Черного моря в основном в ее шельфовой части.

При расчетах различными методами для максимально возможного землетрясения наиболее сейсмоопасного участка Крымско-Черноморского региона получено значение магнитуды M = 7.0 [16]. Возможное значение максимальной интенсивности в районе проектируемого строительства при этом будет составлять не более 4 баллов.

Сейсмоактивный регион **Добруджа** (Румыния) представлен двумя группами эпицентров: в северной (район дельте р. Дунай) и южной части, где произошло разрушительное землетрясение 14 октября 1892 года с магнитудой 7.2 и интенсивностью в эпицентре 7–8 баллов [17].

По данным работы [18] за период с 1872 по 1981 год в регионе Добруджи произошло 12 ощутимых землетрясений. За последние десятилетия в этом районе инструментально зарегистрированы пять ощутимых событий: 9 ноября 1981 г. (M = 4.5), 13 ноября 1981 г. (M = 5.2), 12 марта 1985 г. (M = 3.5), 3 октября 2004 г. (M = 4.7). Последнее ощутимое землетрясение произошло после завершения работ 2 марта 2013г (M=3.5) [19]. К этой же группе очагов, возможно, относится землетрясение 1 октября 1842 г. с $M = (4.8\pm1.0)$ [9].

Максимальное землетрясение из этого района с прогнозной магнитудой M = 7.0[8] может вызвать сотрясение на площадке строительства не более 4.0 баллов.

Местная сейсмичность, связанная с активностью тектонических нарушений платформенной части Украины, изучена слабо в связи с отсутствием здесь необходимого количества высокочувствительных сейсмических станций и, соответственно, низкой эффективностью и селективностью мониторинговой системы [20]. Ощутимые землетрясения происходили здесь крайне редко, их магнитуды не превышали значений $M \le 4,0$. При этом в связи с незначительной глубиной очагов (h = 5-15 км) эпицентральные зоны охватывают небольшую площадь, а интенсивность сотрясений быстро уменьшается с увеличением расстояния. С целью уточнения параметров сейсмического режима «местных» землетрясений в рамках настоящей работы была собрана информация о землетрясения Украинского щита и прилегающих территорий в радиусе 200 км от исследуемой площадки (Табл.1.). Сведения о возможных их макросейсмических проявлениях в районе исследований отсутствуют. Вместе с тем, теоретические

расчеты показывают, что местные землетрясения 29.05.1957 г. (M = 5.2) и 2.02.1975 г. (M = 3.8), эпицентры которых располагались на эпицентральных расстояниях $\Delta = 47$ км и $\Delta = 43$ км от участка проектируемого строительства (Табл. 1), могли проявиться на площадке с расчетной интенсивностью 5 баллов и 3 балла соответственно. Интересно отметить, что за последние 7 лет на территории Украинского кристаллического щита, ранее считавшейся практически асейсмичной, произошло три ощутимых землетрясения: 25.12.2007, 14.01.2011 и 23 июня 2013г. [21, 22, 23].

Сравнительный анализ наиболее полно изученных землетрясений 25.12.2007 и 23 июня 2013 г. [24] позволил установить их общие свойства: зоны очагов были приурочены к верхним слоям земной коры (*h* =< 10 км) сложной зоны сочленения разновозрастных И разнонаправленных разрывных нарушений близмеридианального Криворожско-Кременчугского и диагонального Ледекинского [25]; землетрясения возникли в обстановке близгоризонтального сжатия; тип подвижки в очагах - взбросо-сдвиг по наиболее вероятной крутопадающей плоскости разрыва; сброс накопленных напряжений в обоих случаях был одноактным. Дополнительными исследованиями установлено [23, 20], что в этом же районе 21 мая 2001 г. произошло еще одно землетрясение с магнитудой M = 3.3 и глубиной очага порядка 5 км. Это землетрясение, вероятно, так же связано с Ледекинским диагональным глубинным разломом.

Таблица 1.

Дата			Время в очаге		Координаты			Магни	Δ,	
, ,			1			гипоцентра			туда	КМ
Год	Mec	день	Ч	МИН.	c	φ°N	λ°E	<i>h</i> ,		
						-		КМ	Mw*	
1842	10	1	0	0	0	47.5	29.5	40	5.1	178
1957	5	29	10	17	48.2	48.83	30.77	20	5.2	47
1975	2	2	11	0	11.1	48.7	31.83	0	3.8	43
1996	4	4	9	0	5.7	49.45	33.99	0	3.5	220
1996	5	24	8	59	38.3	47.78	33.02	33	3.9	156
1996	12	24	16	19	27.4	49.45	29.97	0	3.4	137
1999	8	17	17	10	59.1	49.02	32.39	0	2.2	95
2000	12	9	12	20	19	48.15	33.47	0	3.6	168
2006	5	21	1	53	57.6	47.93	33.82	24	3.3	201
2007	4	11	10	4	28.7	49.41	33.76	0	2.9	203
2007	12	25	04	09	34.8	47.99	33.54	10	3.4	163
2008	12	27	8	29	37	50.27	31.83	0	2.5	193
2011	1	14	5	3	16.2	47.80	33.18	5	3.6	165
2013	7	23	21	16	34	47.87	33.47	0	4.4	163

Каталог местных землетрясений, произошедших на эпицентральных
расстояниях Δ до ≈ 200 км от площадки строительства (*– магнитуда по
сейсмическому моменту)

Направленность очагового излучения сейсмических волн из этой группы очагов на исследуемый объект, исходя из решения механизма очага, составила: для продольных волн $R_{\theta\phi} = 0.41$, а для поперечных $R_{\theta\phi} = 0.78$. Таким образом, вклад продольных и поперечных волн в волновую картину примерно одинаков, в связи с чем при расчете сейсмических воздействий от «местных» землетрясений необходимо учитывать как сдвиговые, так и продольные колебания.

Сейсмическая опасность района работ

Согласно картам общего сейсмического районирования территории Украины (OCP-2004) [2, 8], построенным по современной методологии и методике [26, 27, 28, 29, 30], нормативные значения сейсмических воздействий для изучаемой территории составляют: $I_0 = 5$ баллов для периода повторяемости T = 500 лет и вероятности превышения указанной величины в течение 50 лет P = 0.1; $I_0 = 5 - 6$ баллов (T = 1000 лет, P = 0.05; $I_0 = 7$ баллов (T = 5000 лет, P = 0.01). При этом, для периода повторяемости максимального землетрясения T = 1000 лет (Рис.3.А.) территория проектируемого строительства экологически опасного объекта расположена на границе смены зон интенсивности с 6 до 5 баллов, а для T = 5000 лет – вблизи границы зон 7 и 6 баллов (Рис. 3, Б)



Рис. 3. Фрагменты карт общего сейсмического районирования Украины для периодов повторяемости: А – 1000 лет, Б – 5000 лет [2, 8]; 1 – зоны прогнозных интенсивностей; 2 – площадка проектируемого строительства

Карты ОСР-2004 Украины построены по укрупненной сетке (значения интенсивностей рассчитывались в пределах ±0.2 балла в узлах 0.25 х 0.25 градусов) и затем сглаживались с округлением до целочисленных значений.

Подобная методика представления сейсмической опасности лишь приближено отображает картину распределения расчетных интенсивностей сотрясений *I* и не учитывает локальных их особенностей (вариаций *I* – *I*₀ относительно принятых

целочисленных значений). Особенно неопределенным оказываются значения интенсивности на участке смены зон сейсмических интенсивностей. Такой случай относится к территории п.г.т. Смолино (Рис. 3). Поэтому при оценке сейсмичности для объектов ответственных категорий целесообразно проведение работ по уточнению исходной (нормативной) интенсивности в более детальном масштабе с точностью до дробных значений с учетом местных структур вблизи района работ.

Такое уточнение для рассматриваемой территории проведено с учетом детализированной линеаментно-доменной схемы, более полных данных о сейсмичности района и особенностях затухания интенсивности с расстоянием в направлении «очаг-объект». Расчеты выполнены с точностью до 0,01 балла по методике, описанной в работах [8; 28]. Необходимость и целесообразность расчета до дробных значений интенсивностей описана в [31].

Исходными данными при расчете вероятностной максимальной интенсивности колебаний на участке проектируемого строительства послужила следующая информация.

1. Линеаментно-доменная схема зон возможных очагов землетрясений (ЛДФмодель зон ВОЗ), разработанная на основе геолого-геофизических, сейсмологических, геоморфологических, сейсмотектонических данных (Рис. 4). К линеаментам отнесены крупные сейсмотектонические структуры зоны Вранча, Добруджи и Крыма с прогнозными значениями максимальных магнитуд землетрясений Mmax = 6, 6.5, 7 и 8. Структуры с сейсмическим потенциалом M < 6.0 с рассеянной сейсмичностью объединены в домены. Район п.г.т. Смолино расположен в центре крупного домена с Mmax=3.5.



Рис. 4. ЛДФ-модель зон ВОЗ с различным уровнем максимальных магнитуд *M*max.

2. Параметры сейсмического режима (угловой коэффициент графика повторяемости, сейсмическая активность и максимально возможная магнитуда) для каждого линеамента и домена получены с учетом дополнительной информации,

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА В ПОСЕЛКЕ СМОЛИНО...

появившейся после составления нормативных карт OCP-2004. В качестве примера на рисунке 5 приведены график повторяемости землетрясений (а) и трехмерная карта-схема сейсмической активности на уровне магнитуды M = 6.0 (б) наиболее сейсмически опасного региона (района Вранча) для всего диапазона глубин за период с 1940 по 2012 гг.



Рис. 5. График повторяемости землетрясений района Вранча (весь диапазон глубин) за период 1940–2012 г. – (а) и пространственное изображение сейсмической активности района Вранча – (б).

Зависимость нормированной на время частоты повторяемости землетрясений от магнитуды можно аппроксимировать функцией:

 $lg(N) = -(0.72 \pm 0.03) M + (6.0 \pm 0.15).$

Уравнение получено методом ортогональной регрессии при коэффициенте корреляции $\rho = 1.0$.

3. Модели затухания сейсмической интенсивности. Для очаговой зоны Вранча использовались графики зависимости интенсивности от расстояния в азимуте «очагобъект», полученные на основании реальных макросейсмических полей (Рис. 6.). Для землетрясений Добруджи, Крыма и платформенных районов принята теоретическая кривая для стандартного затухания [9] от землетрясения с магнитудой M = 7.0 и глубиной очага h = 15 км (Рис. 6.).

С использованием всей имеющейся информации о сейсмотектонике и сейсмичности исследуемого района выполнены оценки сейсмической опасности в районе исследуемого объекта. Расчеты производились по ячейкам с малыми размерами (0.02 x 0.02 град.) с точностью до 0.01 балла. В результате получены следующие прогнозные значения уточненной нормативной сейсмичности: $I_0 = 5.84$ балла для периода повторяемости T = 500 лет и вероятности превышения указанной величины в течение 50 лет (условный сейсмический риск) P = 0.1; $I_0 = 6.17$ балла (T = 1000 лет, P = 0.05); $I_0 = 6.64$ балла (T = 5000 лет, P = 0.01); $I_0 = 6.83$ балла (T = 10000 лет, P = 0.005). Данные значения исходной (нормативной) сейсмичности относятся к средним грунтам II категории по сейсмическим свойствам.

В работе [32] было показано, что для платформенной территории Украины, где расположены экологически опасные объекты, дальняя сейсмогенная структура (зона

Вранча) фактически реализует свой энергетический потенциал в интервале периодов 100–1000 лет, далее ее вклад в интегральную интенсивность заметно уменьшается. От ближней же местной структуры, с гораздо меньшим сейсмическим потенциалом, сотрясения в 5.5 баллов достигаются только на периодах 1000 лет и, при увеличении периода, ближняя структура представляет уже наибольшую опасность для объекта (интенсивность около 7 баллов). Так для периода T = 10000 лет вклад местных структур в интегральную интенсивность на 1 балл выше, чем интенсивность, создаваемая землетрясениями зоны Вранча [14, 32].



Рис. 6. Зависимость сейсмической интенсивности *I* от эпицентрального расстояния *D*: 1 –для сильных подкоровых землетрясений зоны Вранча в направлении «очаг-объект», 2 –для близких коровых землетрясений.

В соответствии с требованиями нормативных документов [2, 3] расчет устойчивости объектов по производству ядерного топлива выполняется с использованием двух уровней сейсмических воздействий: проектного землетрясения (ПЗ) с периодом повторяемости T = 500 лет и максимального расчетного землетрясений (МРЗ) с периодом повторяемости T = 10000 лет.

Согласно полученным результатам, величина исходной сейсмичности I_0 проектного землетрясения для исследуемой территории составляет: $I_{\Pi 3} = 5,84$ балла, или округленно, $I_{\Pi 3} = 6,0$ баллов по шкале MSK–64; максимального расчетного землетрясения – $I_{MP3} = 6,83$ балла, или, округленно, $I_{MP3} = 7$ баллов и соответствующем допустимым условный сейсмическим риском не более P = 0.005 (или 0.5%). Вышеуказанная уточненная нормативная (исходная) сейсмичность I_0 отнесена к средним грунтовым условиям (II категории по сейсмическим свойствам).

Инженерно-геологические свойства грунтов под площадкой оказывают дополнительное влияние на интенсивность воздействий. В зависимости от сейсмических свойств значения исходной сейсмичности I_0 могут изменяться на величину $\pm \Delta I$, которая определяется в результате инструментальных работ по сейсмическому микрорайонированию площадки. Окончательная (расчетная) I_R

сейсмичность определяется как сумма $I_{\rm R} = I_0 + \Delta I$, где ΔI может принимать как положительное, так и отрицательное значение, т. е. усиливая или уменьшая сейсмический эффект.

3. СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) территорий особо ответственных сооружений выполняется комплексом инструментальных методов [39]. Одним из наиболее эффективных является прямой метод регистрации максимально возможных для данной территории землетрясений. Учитывая крайне редкую повторяемость таких событий и ограниченность сроков проведения исследований на площадке, В данной работе использовался комплекс доступных регистрация инструментальных методов: шахтных взрывов, записи наблюдения высокочастотных микросейсм и сейсморазведочные (метод сейсмических жесткостей). Кроме того для анализа привлекался метод инженерногеологических аналогий по результатам изысканий [6].

Метод регистрации взрывов основан на предположении о подобии реакции грунтов на сейсмические воздействия при землетрясениях и взрывах [33].

Разработано несколько модификаций метода, различающихся условиями проведения взрывов, способом их регистрации и обработки [34, 35, 36]. Выбор методики определяется сейсмогеологическими условиями района и техническими возможностями проведения взрывных работ.

Регистрация взрывов осуществлялась цифровыми сейсмическими станциями *SDAS*, изготовленными в Институте геофизики НАН Украины [37]: двумя трехканальными (UK-6 и UK-7), одной – 12-канальной (UK-9) и тремя 6-тиканальными (UK-12, UK-13 и UK-14). В качестве сейсмоприемников использовались сейсмометры СМ-3КВ и ВЭГИК-М.

За время работы зарегистрировано 10 массовых взрывов в 7 пунктах наблюдений, шесть из которых были размещены на участке проектируемого строительства вблизи устьев разведочных скважин, а один (принятый в качестве эталонного) – на гранитах докембрийского фундамента (грунты I категории по сейсмическим свойствам). При проведении полевых наблюдений в каждом пункте регистрировались три компоненты скорости смещения земной поверхности: две горизонтальные (*W-E*, *N-S*) и вертикальная (*Z*).

Расположение пунктов регистрации взрывов и высокочастотных микросейсм и в районе проведения работ показано на рисунке 7. Параметры зарегистрированных шахтных взрывов приведены в таблице 2.

Все взрывы проводились под землей на глубинах -95 ÷ -429 м от дневной поверхности с замедлением по времени. Такой метод проведения взрывов приближает их к естественным источникам – землетрясениям.

Анализ полученных материалов показал, что записи взрывов характеризуются сложной интерференционной волновой картиной с отсутствием четко выраженных вступлений регулярных волн (Рис. 8), что обусловлено техническими условиями

проведения шахтных взрывов и небольшими расстояниями между пунктами наблюдений и взрывов (от 1.1 до 1.6 км).



Рис. 7. Схема расположения пунктов инструментальных наблюдений. 1 – профили сейсмозондирований; 2 – пункты регистрации взрывов, совмещенные с пунктами регистрации микросейсм; 3 – пункты регистрации микросейсм.

Таблица 2.

N⁰	Дата и время взрыва	Macca	Глубина*	Расстояние **,
п/п		ВВ, к г	взрыва, м	М
1	2	3	4	5
1	03.03.2013 – 15h 15m	1068	-121	1600
2	03.03.2013 – 15h 25m	543	-337	1200
3	17.03.2013 – 15h 17m	556	-121	1600
4	17.03.2013 – 15h 20m	1273	-361	1100
5	17.03.2013 – 15h 30m	2452	-429	1400

Параметры взрывов, зарегистрированных в пунктах наблюдений

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА В ПОСЕЛКЕ СМОЛИНО...

			*	
1	2	3	4	5
6	07.04.2013 – 15h 45m	1500	-121	1600
7	07.04.2013 – 15h 50m	1875	-403	1400
8	21.04.2013 – 15h 21m	900	-95	1600
9	19.05.2013 – 15h 37m	990	-95	1600
10	19.05.2013 – 15h 45m	540	-140	1600

Продолжение таблицы 2.

*- абсолютная отметка от поверхности; ** - расстояние от центра площадки до пункта взрыва

В спектральном составе записей взрывов преобладают колебания резонансного типа с частотами f = 1,8-2,5 Гц; f = 5-7 Гц и f = 9-10 Гц (Рис. 9).

Следует отметить, что частоты максимумов спектральных плотностей сейсмовзрывных колебаний достаточно хорошо совпадают с преобладающими частотами передаточных характеристик среды (амплитудно-частотных характеристик – АЧХ), полученных расчетным способом с использованием алгоритма из работы [38] по материалам инженерно-геологических изысканий (Рис. 10). Особенно четко зависимость спектральной плотности от характеристики АЧХ среды отмечена в диапазоне частот f = 1,8-2,5 Гц.



Рисунок 8. Пример велосиграммы взрыва 03.03.2013 г. в пунктах: № 2 (А) и № 5 (В).



Рис. 9. Пример спектра взрывов: 03.03.2013 г., пункт № 4 (А); 17.03.2013 г., № 5. (В).



Рисунок 10. График передаточной характеристики среды площадки строительства.

По материалам полевых исследований выполнена оценка приращений сейсмической интенсивности с использованием формулы [39]:

$\Delta I = 3.3 lg (A_{i.max} / A_{i.max}),$

где: ΔI – приращение сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 на исследуемом пункте; $A_{i.max}$ и $A_{_{3m. Max}}$ – максимальные амплитуды колебаний для различных компонент на исследуемом (A_i)и эталонном ($A_{_{3m}}$) пунктах соответственно.

В качестве эталонных использовались записи взрывов в пункте №1, расположенном на грунтах I категории по сейсмическим свойствам, представленными докембрийскими гранитами Украинского щита.

Приращения сейсмической интенсивности (ΔI) рассчитывались по каждой компоненте записи и осреднялись для каждого пункта наблюдений. Всего для площадки объекта исследования получено и обработано 210 записей волновых форм взрывов. В связи с тем, что в качестве эталонных приняты грунты I категории по сейсмическим свойствам вычисленные значения ΔI , согласно существующему методическому подходу, уменьшались на 1 балл.

В соответствии с полученными результатами (Табл.3.), приращения сейсмической интенсивности по методу взрывов в пределах исследуемой территории на 6 пунктах регистрации (по 210 записям) находятся в диапазоне: $\Delta I = +0.42 \div +0.72$ балла, составляя в среднем $\Delta I = +0.56 \pm 0.03$ балла относительно исходной сейсмичности (Табл. 3).

Таблица 3.

\mathbb{N}_{2}	Среднее значение <i>∆I</i> ,	Погрешность
пунктов	балл	$\delta \Delta I$
2	+0,55	+0,01
3	+0,59	-0,03
4	+0,60	-0,04
5	+0,53	-0,03
6	+0,52	-0,04
7	+0,57	+0,01
среднее	+0,56	0,027

Приращения сейсмической интенсивности *ΔI*, по методу взрывов

Метод микросейсм основан на анализе непрерывных микроколебаний земной поверхности в широком интервале амплитуд и периодов. В большинстве практических работ по СМР применяется методика, основанная на представлении о статистически равномерном распределении источников микросейсм, стабильности их амплитудно-частотного состава во времени и пространстве [40; 41]. Грунты рассматриваются как некоторый «фильтр», выделяющий колебания определенной частоты с амплитудным уровнем, зависящим от сейсмических свойств грунтов.

Запись микросейсм осуществлялась аппаратурой, использовавшейся при регистрации взрывов.

На рекогносцировочном этапе исследований изучались пространственновременные характеристики поля микросейсм, выяснялись условия обеспечения максимально возможной стандартизации наблюдений. По результатам этого этапа были разработаны схема наблюдений и методика проведения работ. За основу были приняты многократные синхронные регистрации продолжительностью 2–4 часа на эталонном и исследуемом пунктах, расположенных на сравнительно небольших расстояниях друг от друга.

За время работы регистрация микросейсм выполнена в 15 пунктах, семь из которых совмещены со скважинами разведочного бурения и пунктами регистрации взрывов (Рис. 7).

Общий анализ полученных данных показал, что основной вклад в формирование волновой картины вносят микроколебания в диапазоне частот f = 1,0-8,0 Гц. Спектры круглосуточных записей в различных инженерногеологических условиях (пункты №№ 1–3) имеют высокую плотность в указанном диапазоне и резкое снижение амплитуд на частотах выше f = 10 Гц (Рис. 11).



Рис. 11. Пример спектр круглосуточной записи микросейсм в пункте \mathbb{N} 2 составляющая *EW*.

В целом результаты круглосуточных регистраций свидетельствуют о том, что в случае отсутствия близких помех наблюдается довольно высокая стабильность амплитудного уровня микросейсм как в дневное, так и в ночное время. Частотный состав микросейсм в течение суток изменяется незначительно (Рис. 12). Отмеченные особенности позволяют сделать вывод о близости микросейсмического процесса к стационарному в отдельных временных интервалах и использовать записи микросейсм для решения задач сейсмического микрорайонирования.





Рисунок 12. Спектры записей микросейсм 21.04.2013 г. в пункте № 5 в различное время суток. Составляющая E-W: $1 - t = 01^{00}-03^{00}$; $2 - t = 05^{00}-07^{00}$; $3 - t = 10^{00}-12^{00}$; $4 - t = 15^{00}-17^{00}$.

Приращения сейсмической интенсивности (ΔI) по методу микросейсм оценены двумя способами:

1. По максимальным амплитудам микроколебаний с использованием рекомендуемой в работе [39] формулы:

$\Delta I = 2lg (A_{i max} / A_{im.max})$, где

 ΔI – приращение сейсмической интенсивности, выраженное в баллах

A_{i .max} и *A_{эт .max}* – осредненные по всем записям и каждой составляющей максимальные амплитуды микроколебаний в сравниваемом и эталонном пунктах наблюдений.

Согласно полученным результатам, среднее приращение сейсмической интенсивности для грунтовых условий исследуемой территории по методу максимальных амплитуд составляет $\Delta I = +0,47$ балла относительно исходной сейсмичности (Табл. 4.).

Таблица 4.

Приращение о	сейсмической	интенсивности	по методу	максимальных	амплитуд

№№ пунктов	Приращение се	ейсмической интен	сивности по компо	онентам, <i></i>Д , балл		
регистрации микросейсм	EW	Ζ	NS	Среднее		
2	+0,53	+0,44	+0,47	+0,48		
3	+0,46	+0,39	+0,41	+0,42		
4	+0,54	+0,43	+0,53	+0,50		
5	+0,49	+0,36	+0,44	+0,43		
6	+0,55	+0,44	+0,48	+0,49		
7	+0,50	+0,47	+0,56	+0,51		
8	+0,51	+0,44	+0,46	+0,47		
9	+0,49	+0,40	+0,43	+0,44		
10	+0,46	+0,44	+0,54	+0,48		
11	+0,45	+0,40	+0,43	+0,42		
12	+0,47	+0,40	+0,48	+0,45		
13	+0,43	+0,34	+0,46	+0,41		
14	+0,50	+0,47	+0,51	+0,49		
15	0,48	+0,38	+0,46	+0,44		
Среднее: +0,47±0.03						

2. По отношению спектральных плотностей записей различных составляющих колебаний дневной поверхности на исследуемом и эталонном пункте.

При определении ΔI этим способом для каждой компоненты записи и каждого пункта наблюдений по программе, реализующей алгоритм быстрого преобразования Фурье, рассчитаны спектры. По спектрам в дальнейшем оценивались относительные частотные характеристики и приращения сейсмической интенсивности (Рис. 13).

Результаты, полученные методом спектральных плотностей, варьировали в широком диапазоне значений в зависимости от грунтовых условий.

Как видно из рисунка 13, среднее значение приращений в пределах площадки строительства относительно эталонного пункта, расположенного на грунтах I категории по сейсмическим свойствам, составило $\Delta I = +1.50 \pm 0.05$ балла или с учетом корректировки для средних грунтов по сейсмическим свойствам, $\Delta I = +0.50 \pm 0.05$ балла относительно исходной сейсмичности. Эти результаты хорошо согласуется с расчетами, полученными методом максимальных амплитуд (Табл.4.).

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА В ПОСЕЛКЕ СМОЛИНО...



Рис. 13. Примеры сглаженных осредненных спектров микросейсм: в пунктах наблюдений № 2, 5, в пункте № 1 (эталон) и графики приращений сейсмической интенсивности в пунктах № 2, 5.

Метод сейсмических жесткостей, разработанный Медведевым С. В. [42], основан на эмпирической зависимости между сейсмическими жесткостями грунтов (произведение скорости сейсмических волн на плотность пород) на исследуемом и эталонном пунктах и приращениями сейсмической интенсивности. Эта зависимость соответствует теоретическим представлениям о распространении сейсмических волн через среды с различными сейсмическими жесткостями.

Исследования выполнены ООО «Южнобережный центр изысканий» в виде сейсмозондирования методом преломленных продольных и поперечных сейсмических волн на трех профилях длиной по 88 м [43].

В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась цифровая сейсмическая станция «Лакколит» в комплекте с широкополосными сейсмоприемниками.

Согласно характеру наблюденных годографов, грунтовый массив обладает свойствами однородно-слоистой среды, в связи с чем интерпретация материалов выполнена методом пластовых скоростей. Мощности и скорости распространения сейсмической волны в слоях определялись с использованием характерных точек годографа [44].

По скорости распространения продольной *P*-волны в грунтовом массиве выделяется три слоя и по скорости распространения поперечной *S*-волны - четыре слоя, соответствующие:

- почвенно-растительному слою и лессовым суглинкам мощностью 6–7 м, скорость распространения продольной волны *Vp* = 350 м/сек;

- почвенно-растительному слою мощностью около 1м, *Vs* = 140 м/сек;

- лессовым суглинкам мощностью 5,0-5,7 м, Vs = 200 м/сек;

- глинам красно-бурым переслаивающимся суглинками и супесями мощностью 26,0-27,0 м, скорости *Vp* = 560 м/сек; *Vsp* = 320 м/сек;

- коре выветривания гранитов, верхняя часть которых характеризуется скоростями Vp = 1900 м/сек, Vs = 900 м/сек.

Для оценки приращений сейсмической интенсивности применялась формула из работы [42], с использованием скоростей поперечных волн:

 $\Delta I = 1.67 lg (V_{\Im} \rho_{\Im} / V_i \rho_I) + \Delta I_{VTB} + \Delta I_{pe3}$, где

 $V_{\Im} \rho_{\Im}$ – средневзвешенные для 10 м скорости распространения поперечных волн и плотности грунтов на эталонном пункте. В качестве эталонных приняты значения Vs = 350 м/сек, $\rho = 1,75$ г/см³. $V_i \rho_i$ – средневзвешенные для 10 м скорости распространения поперечных волн и плотности грунтов на исследуемом пункте, считая от планировочной отметки. Для рассматриваемой территории Vs = 250 м/сек, $\rho = 1.84$ г/см³. Согласно расчетам [43], приращение сейсмической интенсивности, обусловленное сейсмическими жесткостями грунтов, составляет $\Delta I = +0.20$ балла.

 $\Delta I_{yTB} = \alpha e^{-0.04H}$, где α – коэффициент, зависящий от литологического состава пород. H – уровень залегания грунтовых вод. Для территории проектируемого строительства $\Delta I_{yTB} = 0$.

 ΔI_{pe3} – поправка, учитывающая резонансные явления в слое. В соответствии с [45], в качестве расчетных значений ΔI_{pe3} принята разница в приращениях сейсмической интенсивности, полученных амплитудно-частотными методами (методы взрывов и микросейсм) и методом сейсмических жесткостей: $\Delta I_{pe3} = +0.32$ балла.

Таким образом, приращение сейсмической интенсивности для инженерногеологических условий исследуемой территории по методу сейсмических

жесткостей суммарно составляет $\Delta I = +0.20 + 0.32 = +0.52$ балла относительно исходной (нормативной) сейсмичности.

Оценки приращений сейсмической интенсивности комплексом инструментальных сейсмологических методов хорошо согласуются между собой и характеризуются положительными величинами, незначительно превышающими принятое в СМР пороговое значение $\Delta I = \pm 0.5$ балла (Табл. 4.1). Общая погрешность оценки среднего значения по разным методам $\Delta I = (+0.52\pm0.03)$ соответствует разбросу данных внутри использованных методов промышленных взрывов и микросейсмических колебаний $\delta \Delta I = \pm 0.03$.

Таблица 5.

Приращение сейсмической интенсивности по комплексу методов

Приращение сейсмической интенсивности, ΔI , балл							
	Среднее						
инженерно- геологических аналогий	взрывов	сейсмических жесткостей	микросейсм				
0	+0.56	+0.52	+0.47	+0.52±0.03			

Таким образом, можно оценить окончательные прогнозные значения расчетной сейсмичности $I_{\rm R}$, определенные как сумма уточненной нормативной сейсмичности I_0 и ее приращения ΔI за счет влияния грунтовых условий под площадкой строительства: $I_{\rm R} = I_0 + \Delta I$. Результаты определения $I_{\rm R}$ для различных периодов повторяемости сейсмических событий и соответствующие им максимальные ускорения A приведены в таблице 6.

Таблица 6.

Прогнозные значения сейсмических воздействий для площадки строительства объекта

Периоды	Уточненное	ΔI ,	Точное	Расчетное,	Диапазон
повторяемости	І 0, балл	балл	IR = I0 +	округленное	пиковых
Т , лет			ΔI , балл	I _R , балл	ускорений А,
					см/сек ²
500	5.84	+0.52	6.36	6.0	80-100
1000	6.17	+0.52	6.69	7.0	130-150
5000	6.64	+0.52	7.16	7.0	130–155
10000	6.83	+0.52	7.35	7.0	130-170

Ускорения А от землетрясений зоны Вранча для ПЗ (T = 500 и 1000 лет) рассчитаны по формуле из работы [13], а для МРЗ (T = 5000 и 10000 лет), когда

вклад местных структур наибольший – по формуле из [28]. При этом в таблице 6 приведен диапазон ускорений с учетом как для точных дробных значений $I_{\rm R}$, так и осредненных по шкале интенсивности *MSK-64* до целочисленных значений.

В целом получено, что расчетные значения предельных максимальных пиковых ускорений, используемые для расчета сейсмических нагрузок на строящийся объект, не превышают 170 см/сек² как от сильных удаленных глубокофокусных землетрясений зоны Вранча, так и от местных сейсмических событий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые для территории северного района Кировоградской области выполнены полномасштабные исследования по количественной оценке вероятностной сейсмической опасности на основе комплекса методов, современной методики, новых теоретических И экспериментальных знаний. По инструментальным записям сейсмических колебаний от природных И искусственных источников получены новые результаты по спектрально-временным свойствам и амплитудно-частотным характеристикам грунтовых условий.

В результате проведенных исследований по оценке расчетной сейсмичности участка размещения экологически опасного объекта-завода по производству ядерного топлива в пгт. Смолино Кировоградской области установлено:

1. Сейсмическая опасность изучаемой территории определяется сильными подкоровыми землетрясениями очаговой зоны Вранча, расположенной в месте сочленения Восточных и Южных Карпат с Предкарпатским прогибом, а также «местными» землетрясениями, происходящими в непосредственной близости от исследуемой территории и связанными с тектоническими нарушениями Украинского щита.

2. В строении верхней 10-метровой части геологического разреза рассматриваемой территории, преобладают песчано-глинистые отложения, относящиеся к средней – II категории грунтов по сейсмическим свойствам.

3. Разработана прогнозная модель сейсмического эффекта для средних грунтовых условий (исходная сейсмичность): для проектного землетрясения (ПЗ) один раз в 500 лет с вероятностью превышения P = 0.1 на площадке строительства возможны фоновые сейсмические сотрясения интенсивностью $I_0 = 5.84$ балла и один раз в 1000лет – $I_0 = 6.17$ балла; для максимально расчетного землетрясения (MP3) с периодом повторяемости T = 10000 лет исходная сейсмичность составит $I_0 = 6.83$ балла при минимальной вероятности превышения P = 0.005.

4. Тремя инструментальными методами сейсмического микрорайонирования на промплощадке получено положительное значение приращения сейсмической интенсивности $\Delta I = +(0.53 \pm 0.03)$ за счет локальных инженерно-геологических условий грунтов, усиливающих исходную сейсмичность.

5. Прогнозные значения расчетной сейсмичности с учетом результатов сейсмического микрорайонирования и уточненных значений нормативной балльности для участка размещения проектируемого завода составляют:

– проектное землетрясение – $I_{II3} = 6.36$ балла, или округленно $I_{II3} = 6.0$ баллов для периода повторяемости T = 500 лет и вероятности превышения указанной величины в течение 50 лет P = 0.1;

– максимальное расчетное землетрясение – $I_{MP3} = 7,35$ балла, или округленно $I_{MP3} = 7,0$ баллов для периода повторяемости T = 10000 лет и вероятности превышения указанной величины в течение 50 лет P = 0,005. При этом расчетное максимальное пиковое ускорение грунта для MP3 не превысит значение 170 см/сек² (0.17g).

6. Основной вклад в сейсмические воздействия на район размещения проектируемого завода от глубокофокусных землетрясений зоны Вранча будут оказывать поперечные (сдвиговые) волны *S*, амплитуды которых на порядок выше волн *P*. При расчете сейсмических воздействий от «местных» землетрясений платформенной территории необходимо учитывать как сдвиговые, так и продольные колебания.

7. К неблагоприятным в сейсмическом отношении факторам, распространенным на участке проектируемого строительства, относятся: наличие в верхней части разреза просадочных суглинков, а также подъем уровня грунтовых вод, прогнозируемый в процессе эксплуатации завода.

Результаты выполненных исследований послужили основой моделирования прогнозных сейсмических воздействий в инженерных терминах (акселерограмм) для расчета сейсмических нагрузок прямым динамическим методом с целью обеспечения сейсмоустойчивости конструкций завода и установления предельного срока его эксплуатации.

Список литературы

- Скляр А. М., Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е. и др. Сейсмическое микрорайонирование территории размещения завода по производству ядерного топлива для реакторных установок типа ВВЭР-1000 в п.г.т. Смолино Кировоградской области (заключительный отчет). Фонды ИГФ НАН Украины. Симферополь-Киев, 2013. 73 с.
- Будівництво в сейсмічних районах України. ДБН України В.1.1.12–2006. Київ: Мінбуд України, 2006. 93 с.
- 3. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. НП-031-01. Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности (Госатомнадзор России). 2002. 28 с.
- Старостенко В. И., Пашкевич И. К., Кутас Р. И. Глубинное строение Украинского щита // Геофизический журнал. 2002. № 6. С. 36–48.
- 5. Иванов Б. Н. Отчет о результатах тематических работ масштаба 1:25000, проведенных в Ватутинском рудном поле с целью выделения ураноносных зон под оценку (геологическое задание 54–53). Смолино, 2005. 54с.
- Довченко П. І., Козинець О. О., Колєсніков М. М. Інженерні вишукування (інженерно-геологічні, геодезичні роботи) для проектування заводу з виробництва ядерного палива в с.м.т. Смоліне, Кіровоградської області. Технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування. Фонди ПрАТ «Інститут «Кіровоградагропроект». Кіровоград, 2013. 15 с.
- Кошик Ю. И., Давыдов С. В., Несмиян С. Я. Определение физико-механических свойств грунтов площадки завода по производству ядерного топлива в п.г.т. Смолино. Научно-технический отчет. Фонды ГП «УкрНИПИИпромтехнологии». Желтые Воды, 2011. 76 с.
- Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Пустовитенко А. А. Новые карты сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности // Геофизический журнал. 2006. Том 28. № 3. С.54–77.



- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. Раздел «Крым-Нижняя Кубань» // отв. ред. Н. В. Кондорская, Н. В. Шебалин. М.: Наука, 1977. С. 55–68.
- 10. Карпатское землетрясение 4 марта 1977 года и его последствия / Под. ред. А. В. Друмя. М.: Наука, 1980. 226 с.
- 11. Карпатское землетрясение 30 августа 1986 года / Под. ред. А. В. Друмя, Н. В. Шебалин. Кишинев-Штиинца, 1990. 333 с.
- Друмя А. В., Алказ В. Г., Барашкова Э. Я. и др. Карпатское землетрясение 30 мая 1990 г. Предварительные результаты сейсмических и инженерно-сейсмологических исследований // Известия Академии Наук Молдавии. Физика и техника. 1990. № 3. С. 27–33.
- Алказ В. Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории республики Молдова. Ch: Elena -VI SRL. 2007. 229 с.
- 14. Пустовитенко А. А. Сейсмологические основы прогноза сейсмической опасности территории юга Украины // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физикоматематических наук. Киев, 2008. 21 с.
- Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Пустовитенко А. А. Новые данные о сейсмической опасности г. Одесса и Одесской области // «Будівельні конструкції» Механіка грунтів, геотехніка, фундаментостроения. 2004. Випуск 61. Том 2. С. 388–397.
- Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Борисенко Л. С., Поречнова Е. И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР–98) // Геофизический журнал. 1999. № 6. Т. 21. С.3–15.
- 17. Друмя А. В., Устинова Т. И., Щукин Ю. К. Проблемы тектоники и сейсмологии Молдавии. Выпуск 2. Кишинев: Катря Молдовеняскэ, 1964. 119 с.
- Никонов А. А., Никонова К. И. О сейсмической опасности дельты р. Дуная по данным об исторических землетрясениях // Вопросы инженерной сейсмологии. 1990. Вып. 31. С. 127–134.
- Вербицкий С. Т., Пронишин Р. С., Вербицкий Ю. Т., Чуба М. В., Келеман И. Н., Стецкив А. Т. Сейсмичность Карпат в 1913 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2013 год. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. С. 22–29.
- Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е. Проблемы эффективности сейсмического мониторинга в горнопромышленных районах Украины // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології. Львів: Львівська політехніка, 2009. С. 7–79.
- Скляр А. М., Князева В. С. Макросейсмические данные Криворожского землетрясения 14 января 2011 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. С. 59–61.
- Скляр А. М., Князева В. С., Скляр А. А., Останин А. М. Макросейсмический эффект Криворожского землетрясения 23 июня 2013 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2013 год. Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2014. С.48–53.
- Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Пустовитенко А. А., Скляр А. М. Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. (Украина) // Геофизический журнал. 2010. № 2. Т. 32. С.75–97.
- Пустовитенко Б. Г., Скляр А. А., Скляр А. М. Особенности и общие свойства ощутимых Криворожских землетрясений // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). 2015. Вип. 82. С. 201–207.
- Єнтін В. А. Геофізична основа тектонічної карти України масштабу 1:100 000 // Геофизический журнал. 2005. Вып. 27. № 1. С. 74–84.
- Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: 1993 и Вып. 2–3. М.: ОИФЗ РАН, 1995.
- 27. Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вестник ОГГН РАН. 1999. № 1. С. 1–32.
- Уломов В. И., Шумилина Л. С. Сейсмогеодинамика и вероятностное сейсмическое районирование Северной Евразии // Геофизика на рубеже веков. Изб. Труды ученых ОИФЗ РАН, 2000. С. 216–252.
- 29. Гусев А. А., Павлов В. М., Шумилина Л. С. Новый подход к расчетам повторяемости сейсмического воздействия с целью построения карт сейсмического районирования // Современная сейсмология: достижения и проблемы. Научная конференция РФФИ, НКГ РФ, НС РАН, 1998. 26 с.

- Гусев А. А., Шумилина Л. С. Моделирование связи балл-магнитуда–расстояние на основе представлений о некогерентном протяженном очаге // Вулканология и сейсмология. 1999. №4–5. С. 29–40.
- 31. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Скляр А. М. К вопросу об использовании нецелочисленных значений интенсивности при оценке сейсмической опасности территорий // Тезисы V Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. Сочи, 2003. С. 22.
- Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Пустовитенко А. А. К методике оценки фоновых сейсмических воздействий для объектов повышенного сейсмического риска // Будівництво в сейсмичних районах Украіни. 2004. Вип. 60. С. 49–55.
- 33. Меметова Н. С., Пустовитенко Б. Г. Особенности динамических характеристик сейсмических волн промышленных взрывов // Сейсмологический бюллетень западной зоны системы сейсмических наблюдений Украины и Молдовы за 1990 год. Киев: Наукова думка, 1994. С. 180–187.
- Негматуллаев С. Х., Рулев Б. Г., Харин Д. А. Результаты испытания конструкций различных типов сейсмовзрывными волнами // Вопросы инженерной сейсмологии. 1970. Выпуск 13. 229 с.
- 35. Павлов О. В., Бунэ В. И., Павленов В. А., Шарапов В. Г. Опыт применения взрывов при сейсмическом микрорайонировании на вечномерзлых грунтах // Бюллетень по инженерной сейсмологии МССС АН СССР. 1973. № 8. 116 с.
- Сковитин А. И. Измерение колебаний грунтов при взрывах для микрорайонирования. // Сейсмическое микрорайонирование. М: Наука, 1977. С. 80–85.
- 37. Королев В. А., Щербина С. В. Цифровые сейсмические станции для инженерносейсмологических исследований: оснащение, калибровка, полевые испытания // Сборник материалов международной научной конференции «Уроки и следствия сильных землетрясений». Ялта-Симферополь, 2007. С. 71–72.
- 38. Ратникова Л. И. Методы расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах. М.: Наука. 1973. 124 с.
- Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства / Под ред. С. А. Федорова. М: Госстрой СССР, 1985. 136 с.
- 40. Скляр А. М., Королев В. А., Иванченко Е. П. и др. Ровенская АЭС. Энергоблок № 4. Технический отчет о результатах работ по доисследованию сейсмической опасности. В 3-х томах. Том 3. Обосновывающие материалы комплексных геолого-геофизических работ. Книга 3. Сейсмическое микрорайонирование. Симферополь-Киев, 1999. 116 с.
- Скляр А. М., Останин А. М., Князева В. С. и др. Отчет по теме: «Сейсмическое микрорайонирование территории хвостохранилища в балке «Щербаковская» ОАО «ГП ВостГОК». Фонды ИГФ НАН Украины. Симферополь-Киев, 2002. 60 с.
- 42. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. М: Госстройиздат, 1962. 284 с.
- 43. Федин М. М. Отчет «Сейсморазведочные исследования для целей сейсмического микрорайонирования территории размещения завода по производству ядерного топлива в пгт Смолино Кировоградской области» - фонды ООО «Южнобережный центр изысканий». Алушта, 2013. 27 с.
- 44. Гурвич И. И., Боганик Г. Н. Сейсмическая разведка. М.: Недра, 1980. 551 с.
- 45. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность: Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / Отв. ред. О. В. Павлов. М: Наука, 1988. 223 с.

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF THE TERRITORY OF

ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS FACILITY IN THE URBAN-TYPE

SETTLEMENT OF SMOLINO IN THE KIROVOGRAD REGION

Pustovitenko B. G., Sklyar A. A., Ostanin A. M.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation. E-mail: bpustovitenko@mail.ru Purpose – quantitative estimate of seismic hazard of the site of the projected plant for the production of nuclear fuel in the urban-type settlement Smolino, in Ukraine.

Technique. Modern methodology and methods of long term prediction of seismic hazard based on probabilistic and deterministic models of seismicity, seismic foci, attenuation and areas of focal earthquakes occurrence have been used. The basis of the study was a comprehensive analysis of seismological, geological and geophysical information within a radius of 1000 km, and the seismic micro zoning at the site of the object.

Results. We have developed a predictive model of seismic effect for medium ground conditions (original seismicity) for different return periods and probabilities of exceedance of the calculated values for 50 years (conditional seismic risk P): for a design basis earthquake (BE) once 500 years with exceedance probability P=0.1. At the construction site background seismic shaking is possible with intensity $I_0 = 5.84$ points and once a1000 years $-I_0 = 6.17$ points, P=0.05; for the maximum designed earthquake (MDE) with return period T = 10.000 years initial seismicity will be $I_0 = 6.83$ points with minimum seismic risk P =0.05. Using three methods of seismic microzoning at the site we obtained a positive value of the increment of seismic intensity $\Delta I = +(0.53\pm0.03)$ due to adverse engineering-geological conditions of the soil.

The final calculated seismicity I_R for the project based on local properties of soil is: for level of BE - I_R =6.3 points (6 points for short), and MDE – I_R =7.35 points (7 points for short). Although peak ground accelerations shall not exceed 0.17 g.

Scientific novelty. For the first time for the northern district of Kirovograd region a fullscale study to quantify probabilistic seismic hazard on the basis of complex methods, modern techniques, new theoretical and experimental knowledge has been conducted. By instrumental records of seismic vibrations from natural and artificial sources, we have obtained new results on spectral and time properties and amplitude-frequency characteristics of the ground conditions.

Practical significance. Refined estimates of the seismic hazard level of the construction of the environmentally hazardous facility served as a basis for the simulation of the forecast of seismic effects in engineering terms (shape curves) to calculate the seismic loads by direct dynamic method to ensure earthquake resistance of the plant constructions and setting the limit of its life.

Keywords: earthquake, intensity, normative seismicity, seismic hazard, seismic microzoning, geological structure, engineering and geological conditions, attenuation.

References

^{1.} Sklyar A. M., Pustovitenko B. G., Kul'chickiy V. E. i dr. Seysmicheskoe mikrorayonirovanie territorii razmeshcheniya zavoda po proizvodstvu yadernogo topliva dlya reaktornyh ustanovok tipa VVER-1000 v p.g.t. Smolino Kirovogradskoy oblasti (zaklyuchitel'nyy otchet) (Seismic micro zoning territory placing a plant to produce nuclear fuel for the reactor units VVER-1000 in the settlement Smolino Kirovograd region). Fondy IGF NAN Ukrainy. Simferopol'-Kiev, 2013. 73 s.

^{2.} Budivnictvo v seysmichnih rayonah Ukraïni (Budivnitstvo seysmichnih in regions of Ukraine). DBN Ukraïni V.1.1.12-2006. Kiïv: Minbud Ukraïni, 2006. 93 c.

^{3.} Normy Proektirovaniya seysmostoykih atomnyh stanciy (The earthquake-resistant design standards of nuclear power plants). NP-031-01. Federal'nyy nadzor Rossii po yadernoy i radiacionnoy bezopasnosti (Gosatomnadzor Rossii). 2002. 28 s.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА В ПОСЕЛКЕ СМОЛИНО...

4. Starostenko V. I., Pashkevich I. K., Kutas R. I. Glubinnoe stroenie Ukrainskogo shchita (Deep structure of the Ukrainian Shield) // Geofizicheskiy zhurnal. 2002. № 6. S. 36–48.

5. Ivanov B. N. Otchet o rezul'tatah tematicheskih rabot masshtaba 1:25000, provedennyh v Vatutinskom rudnom pole s cel'yu vydeleniya uranonosnyh zon pod ocenku (geologicheskoe zadanie 54–53) (eport on the results of thematic works the scale of 1: 25,000, held in Vatutinsky ore field in order to separate uranium-bearing zones under assessment (geological assignment 54–53)). Smolino, 2005. 54s.

6. Dovchenko P. I., Kozinec' O. O., Kolesnikov M. M. Inzhenerni vishukuvannya (inzhenernogeologichni, geodezichni roboti) dlya proektuvannya zavodu z virobnictva yadernogo paliva v s.m.t. Smoline, Kirovograds'koï oblasti. Tekhnichniy zvit pro inzhenerno-geologichni vishukuvannya. Fondi PrAT «Institut «Kirovogradagroproekt» (Inzhenerni vishukuvannya (inzhenerno-geologichni, geodezichni robots) for proektuvannya plant virobnitstva s Nuclear Fuel type in CMT Smoline, Kirovogradagroproekt»). Kirovograd, zvit about inzhenerno-geologichni vishukuvannya. Fondi PrAT «Institut Kirovogradagroproekt»). Kirovograd, 2013. 15 s.

7. Koshik YU. I., Davydov S. V., Nesmiyan S. YA. Opredelenie fiziko-mekhanicheskih svoystv gruntov ploshchadki zavoda po proizvodstvu yadernogo topliva v p.g.t. Smolino. Nauchno-tekhnicheskiy otchet. Fondy GP «UkrNIPIIpromtekhnologii» (Nesmiyan Determination of physical and mechanical properties of the soil of the plant site for the production of nuclear fuel in the settlement Smolino. Scientific and Technical Report. Funds SE «UkrNIPIIpromtehnologii»). ZHeltye Vody, 2011. 76 s.

8. Pustovitenko B. G., Kul'chickiy V. E., Pustovitenko A. A. Novye karty seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Ukrainy. Osobennosti modeli dolgovremennoy seysmicheskoy opasnosti (New maps of seismic zoning of the territory of Ukraine. Features of the model of long-term seismic hazard) // Geofizicheskiy zhurnal. 2006. Tom 28. №3. S.54–77.

9. Novyy katalog sil'nyh zemletryaseniy na territorii SSSR s drevneyshih vremen do 1975 g. Razdel «Krym-Nizhnyaya Kuban'« (New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975 Section «Crimea-Kuban Lower») // otv. red. N. V. Kondorskaya, N. V. SHebalin. M.: Nauka, 1977. S. 55–68.

10. Karpatskoe zemletryasenie 4 marta 1977 goda i ego posledstviya (Carpathian earthquake of March 4, 1977 and its consequences) / Pod. red. A. V. Drumya. M.: Nauka, 1980. 226 s.

11. Karpatskoe zemletryasenie 30 avgusta 1986 goda (Carpathian earthquake of August 30, 1986) / Pod. red. A. V. Drumya, N. V. SHebalin. Kishinev-SHtiinca, 1990. – 333 s.

12. Drumya A. V., Alkaz V. G., Barashkova E. YA. i dr. Karpatskoe zemletryasenie 30 maya 1990 g. Predvaritel'nye rezul'taty seysmicheskih i inzhenerno-seysmologicheskih issledovaniy (Carpathian earthquake of May 30, 1990 Preliminary results of seismic and engineering-seismological studies) // Izvestiya Akademii Nauk Moldavii. Fizika i tekhnika. 1990. № 3. C. 27–33.

13. Alkaz V. G. Osnovy prognoza seysmicheskoy opasnosti i seysmicheskogo riska territorii respubliki Moldova (Basics forecast of seismic hazard and seismic risk in the republic of Moldova). Ch: Elena -VI SRL. 2007. 229 s.

14. Pustovitenko A. A. Seysmologicheskie osnovy prognoza seysmicheskoy opasnosti territorii yuga Ukrainy (Seismological bases of seismic hazard forecasting the south of Ukraine) // Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata fiziko-matematicheskih nauk. Kiev, 2008. 21 s

15. Pustovitenko B. G., Kul'chickiy V. E., Pustovitenko A. A. Novye dannye o seysmicheskoy opasnosti g. Odessa i Odesskoy oblasti (New data on the seismic hazard of Odessa and Odessa region) // «Budivel'ni konstrukcii» Mekhanika gruntiv, geotekhnika, fundamentostroeniya. 2004. Vipusk 61. Tom 2. S. 388-397.

16. Pustovitenko B. G., Kul'chickiy V. E., Borisenko L. S., Porechnova E. I. Obshchee seysmicheskoe rayonirovanie territorii Kryma (OSR–98) (General seismic zoning of the Crimea (OSR–98))// Geofizicheskiy zhurnal. 1999. Ne6. T. 21. S.3–15.

Drumya A. V., Ustinova T. I., SHCHukin YU. K. Problemy tektoniki i seysmologii Moldavii.
Vypusk 2 (Problems of seismology and tectonics of Moldova). Kishinev: Katrya Moldovenyaske, 1964. 119 s.
Nikonov A. A., Nikonova K. I. O seysmicheskoy opasnosti del'ty r. Dunaya po dannym ob istoricheskih zemletryaseniyah (About seismic hazard delta. Danube from data on historical earthquakes) // Voprosy inzhenernoy seysmologii. 1990. Vyp. 31. S. 127–134.

19. Verbickiy S. T., Pronishin R. S., Verbickiy YU. T., CHuba M. V., Keleman I. N., Steckiv A. T. Seysmichnost' Karpat v 1913 g. (Stetskiv Seismicity of the Carpathians in 1913) // Seysmologicheskiy byulleten' Ukrainy za 2013 god. Sevastopol': NPC « EKOSI-Gidrofizika», 2014. S. 22–29.

20. Pustovitenko B. G., Kul'chickiy V. E. Problemy effektivnosti seysmicheskogo monitoringa v gornopromyshlennyh rayonah Ukrainy (Problems of seismic monitoring efficiency in the mining regions of Ukraine) // Geoinformaciyniy monitoring navkolishn'ogo seredovishcha: GPS i GIS-tekhnologiï. L'viv: L'vivs'ka politekhnika, 2009. S. 7–79.

Sklyar A. M., Knyazeva V. S. Makroseysmicheskie dannye Krivorozhskogo zemletryaseniya 14 yanvarya
(Macroseismic data Krivorozhskogo earthquake January 14, 2011) // Seysmologicheskiy byulleten' Ukrainy
za 2011 god. Sevastopol': NPC «EKOSI-Gidrofizika», 2012. C. 59–61.

22. Sklyar A. M., Knyazeva V. S., Sklyar A. A., Ostanin A. M. Makroseysmicheskiy effekt Krivorozhskogo zemletryaseniya 23 iyunya 2013 g. (Macroseismic effect of Krivoy Rog earthquake June 23, 2013) // Seysmologicheskiy byulleten' Ukrainy za 2013 god. Sevastopol': NPC «Ekosi-Gidrofizika», 2014. S.48-53.

23. Pustovitenko B. G., Kul'chickiy V. E., Pustovitenko A. A., Sklyar A. M. Instrumental'nye i makroseysmicheskie dannye o processah v ochagovoy zone Krivorozhskogo zemletryaseniya 25 dekabrya 2007 G. (Ukraina) (instrumental and macroseismic data about the processes in the focal area of Krivoy Rog earthquake of December 25, 2007 (Ukraine)) // Geofizicheskiy zhurnal. 2010. №2. T. 32. S.75–97.

24. Pustovitenko B. G., Sklyar A. A., Sklyar A. M. Osobennosti i obshchie svoystva oshchutimyh Krivorozhskih zemletryaseniy (Features and general properties of tangible Kryvyi Rih earthquakes) // Budivel'ni konstrukciï: Mizhvidomchiy naukovo-tekhnichniy zbirnik naukovih prac' (budivnictvo). 2015. Vip. 82. S.201–207.

25. Cntin V. A. Geofizichna osnova tektonichnoï karti Ukraïni masshtabu 1:100 000 (Geofizichna basis tektonichnoï Carty Ukraine scale 1: 100 000) // Geofizicheskiy zhurnal. 2005. Vyp. 27. № 1. S. 74–84.

26. Seysmichnost' i seysmicheskoe rayonirovanie Severnoy Evrazii. Vyp. 1 (Seismicity and seismic zoning of Northern Eurasia. Vol. 1). M.:1993 i Vyp. 2-3. M.: OIFZ RAN, 1995.

27. Ulomov V.I. Seysmogeodinamika i seysmicheskoe rayonirovanie Severnoy Evrazii (Seismogeodynamics and seismic zoning of Northern Eurasia) // Vestnik OGGN RAN. 1999. № 1. S.1–32.

28. Ulomov V. I., SHumilina L. S. Seysmogeodinamika i veroyatnostnoe seysmicheskoe rayonirovanie Severnoy Evrazii (Seismogeodynamics and probabilistic seismic zoning of Northern Eurasia) // Geofizika na rubezhe vekov. Izb. Trudy uchenyh OIFZ RAN, 2000. S.216–252.

29. Gusev A. A., Pavlov V. M., SHumilina L. S. Novyy podhod k raschetam povtoryaemosti seysmicheskogo vozdeystviya s cel'yu postroeniya kart seysmicheskogo rayonirovaniya (A new approach to the calculation of repeatability of the seismic action for the purpose of constructing maps of seismic zoning) // Sovremennaya seysmologiya: dostizheniya i problemy. Nauchnaya konferenciya RFFI, NKG RF, NS RAN, 1998. 26 s.

30. Gusev A. A., SHumilina L. S. Modelirovanie svyazi ball-magnituda–rasstoyanie na osnove predstavleniy o nekogerentnom protyazhennom ochage (Simulation connection intensity-magnitude-distance based on the concepts of incoherent extended source) // Vulkanologiya i seysmologiya. 1999. №4–5. S–29–40.

31. Pustovitenko B. G., Kul'chickiy V. E., Sklyar A. M. K voprosu ob ispol'zovanii necelochislennyh znacheniy intensivnosti pri ocenke seysmicheskoy opasnosti territoriy (On the issue of non-integer values of intensity in the assessment of seismic hazard areas) // Tezisy V Rossiyskoy nacional'noy konferencii po seysmostoykomu stroitel'stvu i seysmicheskomu rayonirovaniyu. Sochi, 2003. S. 22.

32. Pustovitenko B. G., Kul'chickiy V. E., Pustovitenko A. A. K metodike ocenki fonovyh seysmicheskih vozdeystviy dlya ob»ektov povyshennogo seysmicheskogo riska (By the method of assessment of background seismic effects for high seismic risk objects) // Budivnictvo v seysmichnih rayonah Ukraini. 2004. Vip. 60. S.49–55.

33. Memetova N. S., Pustovitenko B. G. Osobennosti dinamicheskih harakteristik seysmicheskih voln promyshlennyh vzryvov (Features of the dynamic characteristics of seismic waves industrial explosions) // Seysmologicheskiy byulleten' zapadnoy zony sistemy seysmicheskih nablyudeniy Ukrainy i Moldovy za 1990 god. Kiev: Naukova dumka, 1994. S. 180–187.

34. Negmatullaev S. H., Rulev B. G., Harin D. A. Rezul'taty ispytaniya konstrukciy razlichnyh tipov seysmovzryvnymi volnami (Test results of designs of different types of seismic waves) // Voprosy inzhenernoy seysmologii. 1970. Vypusk 13. 229 s.

35. Pavlov O. V., Bune V. I., Pavlenov V. A., SHarapov V. G. Opyt primeneniya vzryvov pri seysmicheskom mikrorayonirovanii na vechnomerzlyh gruntah (Experience of explosions in seismic zoning on permafrost) // Byulleten' po inzhenernoy seysmologii MSSS AN SSSR. 1973. № 8. 116 s.

36. Skovitin A. I. Izmerenie kolebaniy gruntov pri vzryvah dlya mikrorayonirovaniya (Measurement of ground motion in the explosions for zoning. // Seismic micro zoning) // Seysmicheskoe mikrorayonirovanie. M: Nauka, 1977. S. 80–85.

37. Korolev V. A., SHCHerbina S. V. Cifrovye seysmicheskie stancii dlya inzhenernoseysmologicheskih issledovaniy: osnashchenie, kalibrovka, polevye ispytaniya (Digital seismic stations for engineering and seismological research: the equipment, calibration, field tests) // Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii «Uroki i sledstviya sil'nyh zemletryaseniy». YAlta-Simferopol', 2007. S. 71-72.

38. Ratnikova L. I. Metody rascheta seysmicheskih voln v tonkosloistyh sredah (Methods of calculation of seismic waves in thin-layered media). M.: Nauka. 1973. 124 s.

39. Rekomendacii po seysmicheskomu mikrorayonirovaniyu pri inzhenernyh izyskaniyah dlya stroitel'stva (Recommendations for the seismic zoning in engineering surveys for construction) / Pod red. S. A. Fedorova. M: Gosstroy SSSR, 1985. 136 s.

40. Sklyar A. M., Korolev V. A., Ivanchenko E. P. i dr. Rovenskaya AES. Energoblok \mathbb{N} 4. -Tekhnicheskiy otchet o rezul'tatah rabot po doissledovaniyu seysmicheskoy opasnosti. V 3-h tomah. Tom 3. Obosnovyvayushchie materialy kompleksnyh geologo-geofizicheskih rabot. Kniga 3. Seysmicheskoe mikrorayonirovanie (Rivne NPP. The power unit \mathbb{N} 4. – Technical Report on the results of work on doissledovaniyu seismic hazard. In 3 volumes. Volume 3. Justifying materials of complex geological and geophysical work. Book 3. Seismic micro zoning). Simferopol'-Kiev, 1999. 116 s.

41. Sklyar A. M., Ostanin A. M., Knyazeva V. S. i dr. Otchet po teme: «Seysmicheskoe mikrorayonirovanie territorii hvostohranilishcha v balke «SHCHerbakovskaya» OAO «GP VostGOK». Fondy IGF NAN Ukrainy (Related report:. «Seismic micro zoning territory of the tailings in the beam» Shcherbakovskaya «of» GP VostGOK «. Funds IGP NASU). Simferopol'-Kiev, 2002. 60 s.

42. Medvedev S. V. Inzhenernaya seysmologiya (Engineering Seismology). M: Gosstroyizdat, 1962. 284 s.

43. Fedin M. M. Otchet «Seysmorazvedochnye issledovaniya dlya celey seysmicheskogo mikrorayonirovaniya territorii razmeshcheniya zavoda po proizvodstvu yadernogo topliva v pgt Smolino Kirovogradskoy oblasti» - fondy OOO «YUzhnoberezhnyy centr izyskaniy» (Report «Seismic studies for the purpose of seismic zoning territory placing nuclear fuel fabrication plant in the village of Smolino Kirovograd region» – funds of «South Coast research center.»). Alushta, 2013. 27 s.

44. Gurvich I. I., Boganik G. N. Seysmicheskaya razvedka (Seismic exploration). M.: Nedra, 1980. 551 s.

45. Ocenka vliyaniya gruntovyh usloviy na seysmicheskuyu opasnost': Metodicheskoe rukovodstvo po seysmicheskomu mikrorayonirovaniyu (Assessment of soil conditions on seismic hazard: Toolkit for seismic zoning) / Otv. red. O. V. Pavlov. M: Nauka, 1988. 223 s.

Поступила в редакцию 5. 04. 2016 г.