ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТЕ «ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ НА РУДНИКЕ «ВЕТРЕНСКИЙ»

С.В. Курткин, Е.И. Алешина, Л.И. Карпенко, Е.И. Ведерников

Магаданский филиал ЕГС РАН, г. Магадан

Введение

Прогноз сейсмической опасности и расчетных сейсмических воздействий для горнопромышленных сооружений, расположенных в сейсмически активных зонах, уменьшение сейсмического риска от возможных сильных землетрясений, зависят от точности сейсмической информации, используемой как на стадии проектирования, так и в период эксплуатации сооружения.

Согласно техническому заданию Хвостохранилище на руднике «Ветренский» в Магаданской области относится к объектам с нормальным уровнем ответственности. Для оценки сейсмичности площадки выбрана нормативная карта ОСР-97А, по которой участок строительства изучаемого объекта расположен в 7-балльной зоне сейсмической опасности, что соответствует повторяемости сейсмического эффекта на земной поверхности в среднем один раз в 500 лет [8].

Основные сведения о сейсмотектонике района исследований

Район работ по определению сейсмичности располагается в юго-восточной части Верхояно-Колымской складчатой системы, протягивающейся от побережья Северного Ледовитого океана до Охотского моря. Особенностью складчатой системы являются зоны концентрации линейных структур преимущественно северо-западного простирания [2]. В пределах Верхояно-Колымской складчатой зоны располагается сейсмический пояс Черского, геодинамика которого определяется взаимодействием Евразийской и Северо-Американской литосферных плит [10]. Землетрясения этого пояса представляют основную сейсмическую опасность для сооружений рудника «Ветренский». Работы по определению сейсмичности проводились в юго-восточной части пояса.

По нормативной карте OCP-97A, участок строительства изучаемого объекта – Хвостохранилища на руднике «Ветренский» в Магаданской области – расположен в 7-балльной зоне сейсмической опасности; по карте OCP-97B – в 8-балльной зоне, а по карте OCP-97C – в 9-балльной зоне [8].

За период наблюдений с 1924 г. по 2015 г. в районе рудника «Ветренский, на удалении 150 км, локализованы 995 местных землетрясений с энергетическими классами K_P =5.3–14.0. Гипоцентры землетрясений расположены в пределах земной коры на глубинах $h\leq33$ км. Основное количество событий сконцентрировано в диапазоне глубин 5–6 км. Самые сильные землетрясения (с $M\geq5$) регистрировались на глубинах 15–24 км.

Большинство событий, в том числе и самые сильные приурочены к крупнейшим глубинным разломам: Тенькинскому, Чай-Юрьинскому, Дебинскому и Дарпир. Умеренная рассеянная сейсмичность, ограниченная контурами Кюель-Сиенского магматогенного поднятия, наблюдается на северо-востоке от изучаемого объекта. Отметим, что за весь период наблюдений зона Чай-Юрьинского разлома активна только в северо-западной части, в районе рудника «Ветренский» (средний сегмент разлома) зарегистрированы не более 10 слабых событий с K_P =6.5–7.9. Юговосточный сегмент Чай-Юрьинского разлома еще менее активен, здесь зарегистрированы всего 4 землетрясения с K_P =6.6–7.7.

Выделены три зоны ВОЗ: северо-западного простирания, связанные с крупнейшими одноименными сейсмогенерирующими разломами Тенькинская, Чай-Юрьинская и Дарпирская. Наиболее опасные – Чай-Юрьинская и Тенькинская зоны. Характеристика зон ВОЗ представлена в табл. 1. Согласно механизмам очагов сильнейших землетрясений современные типы подвижек по разломам – сдвиги, близ эпицентров землетрясений преобладают субвертикальные смещения.

Макросейсмические проявления землетрясений в районе рудника «Ветренский»

На территории Магаданской обл. и приграничной Якутии (Caxa) неоднократно происходили сильные землетрясения [1, 4].

Артыкское землетрясение с *M*=6.6 – самое сильное событие из инструментально зарегистрированных в системе сейсмического пояса Черского произошло 18 мая 1971 г.

Месторождение Ветренское находилось на расстоянии 310 км юго-восточнее эпицентра (∆=310 км), располагалось в четырехбалльной зоне сотрясений.

Таблица 1. Характеристики зон ВОЗ

Название зоны ВОЗ	Протяженно сть продольной и поперечной оси, км	Число событий в зоне с К≥10	Максимальное землетрясение по каталогу	Глубина очага, км	Тип подвижки в очаге	Расстояние от эпицентра до площадки, км	Наблюден ная интенсивн ость сотрясени й на площадке
1	2	3	5	6	7	8	9
Чай- Юрьинская	250 × 45	5	Артыкское, М=7.1	16	левосторон ний сдвиг	310	4 балла
			Аян- Юряхское, M=5.6	18	надвиг	270	нет данных
Тенькинская	187 × 45	4	Кулинское, M=5.7	24	правостор онний сдвиг	136	4 балла
Дарпирская	104 × 26	1	13 марта 1924 г., M=5.5	15	нет данных	140	нет данных

Кулинское землетрясение с M=5.5 ($K_P=14$) произошло 13 января 1972 г. Это самое сильное землетрясение, находящееся в пределах исследуемой территории (в радиусе 150 км от объекта). Интенсивность сотрясений в районе месторождения Ветренское ($\Delta=136$ км) составила 4 балла по шкале MSK-64.

Эльгенское землетрясение с M=4.9 (K_P =13) зарегистрировано 19 июня 1974 г. Месторождение Ветренское (Δ =170 км) находилось в четырех балльной зоне сотрясений.

Купкинское землетрясение с *М*=5.6 (*К*_P =13.3) зарегистрировано 18 ноября 1981 г. (Δ =170 км) находилось в трех-четырех балльной зоне сотрясений.

Согласно поведению изосейст сильных землетрясений в районе месторождения Ветренское сотрясения не превышали 4 баллов, что существенно ниже, чем указано на картах общего сейсмического районирования территории РФ ОСР–97.

Сейсмопрофилирование

Уточнение сейсмичности на объекте Хвостохранилище рудника «Ветренский» под складирование мокрых отходов с гидротехническим сооружением Дамба (длина по оси гребня 250 м, высота до 37 м) проведено в апреле 2016 года. Комплекс работ, осуществлялся в соответствии с нормативными документами СНиП II-7-81*, РСН 45-77, РСН 60-86, РСН 66-87 [6, 7].

Грунтовое основание площадки строительства сложено алевролитами верхнего триаса (T_3) массивной или ложно сланцевой (рассланцованной) текстуры, которые частично, перекрыты разрушенными до фракций дресвы и щебня, реже глыб и техногенными насыпными грунтами четвертичной системы (tQ₄). Коренные породы основания имеют положительную температуру в верхней части, а ниже глубин 2.5 м – отрицательную. По результатам испытания образцов и данным параметрических кривых ВЭЗ, содержание влаги в трещинах незначительное, а объемная влажность в массиве не превышает 0,04–0,05 дол. ед. Мерзлые коренные грунты можно условно отнести к морозным грунтам, содержание влаги в них, практически не меняется в талом и мерзлом состоянии, а значит и не оказывает какого-либо изменения на их прочностные свойства.

Наблюдения включали сейсмопрофилирование по продольным профилям с возбуждением колебаний в 4 пунктах (рис. 1). В работе использовались широкополосные сейсмические станции СМG-6TD (Guralp), и шестиканальные станции «Байкал» для регистрации микросейсм и скоростей

пробега сейсмических волн при возбуждении от ударов. Работы проводились по трем сейсмологическим профилям методом КМПВ с регистрацией продольных и поперечных волн (*P* и *S*).



Рис. 1. Схема расположения профилей и пунктов наблюдения на дамбе

Профиль 1 и профиль 2 расположены в долине ручья в крест длинной оси проектируемой Дамбы №3. Расстояние между профилями 57 м. Грунты мерзлые дресвяно-щебнистые. Профиль 3 расположен параллельно двум предыдущим, в крест оси дамбы, вдоль дороги, проложенной по правому борту долины с превышением 20 м к профилю 1 и 30 м к профилю 2. На расстоянии в плане 85 м от профиля 1. Длина каждого профиля – 55 м. На каждом профиле было установлено 12 приборов на расстоянии 5 *м* друг от друга: 12 сейсмометров СВ-5 и 12 сейсмометров СГ-10. Частота дискретизации 4000 отсч/сек. Источником сейсмического сигнала служил тяжелый металлический предмет, бросаемый с высоты 2 *м* на расстоянии 5 и 55 м от крайнего сейсмодатчика с обеих сторон профиля (по 4 пункта удара для каждого профиля). Координаты пунктов ударов определялись приборами GPS. Точка приема определялась системой GPS, встроенной в сейсмографы. После окончания наблюдений проводилось выделение времени первых вступлений продольной *P* и поперечной *S* волн (t_P и t_S). Затем строились годографы. Продольные годографы усреднялись прямыми линиями, по которым определялись скорости V_P , V_S волн вдоль профиля из каждого пункта удара. Средние значения скоростей продольных и поперечных волн сведены в табл. 2.

Объект	V _P , км/с	V _S , км/с	$V_{\rm P}/V_{\rm S}$
Профиль 1	4.31	2.60	1.66
Профиль 2	3.57	1.87	1.91
Профиль 3	3.52	1.73	2.03

	Габлица 2.	Скорости п	родольных	V _P и попе	речных V	, s волн по	проф	оилям
--	------------	------------	-----------	-----------------------	----------	----------------	------	-------

Для площадок Профилей 2 и 3 получены пониженные значения скоростей. Для Профиля 3 значения скоростей поперечных волн $V_{\rm S}$ являются наименьшими. Высокие значения скорости волн $V_{\rm S}$ получены по участку Профиля 1, что позволяет считать его благоприятным по сейсмоакустическим свойствам.

По данным табл.1 было выполнено прогнозирование приращения балльности на исследуемой территории. Для этого использовалась скорость наибольшей горизонтальной компоненты поперечной волны V_{s} .

В качестве одного из способов оценки изменения сейсмической опасности по методу акустических жесткостей используют экспериментальную зависимость [5, 9] для мерзлых грунтов:

$$\Delta I = 1,9 \lg \frac{V_{j} \rho_{j}}{V_{i} \rho_{i}}$$
(1)

где V_3 , ρ_3 – соответственно значения скоростей и объемной плотности пород профиля эталона; V_i , ρ_i – значения скоростей и объемной плотности пород *i*-го профиля.

В расчетах за эталон были приняты инженерно-геологические условия профиля 1. Результаты расчета величины приращения балльности методом акустических жесткостей представлены в табл. 2.

Таблица 3. Расчет приращения балльности по профилям

Объект	ρ	V _S , км/с	ΔI	Ι
Профиль 1 – эталон	2.32	2.60	_	7.0
Профиль 2	2.32	1.87	0.27	7.27
Профиль 3	2.32	1.73	0.34	7.34

Заключение

Полученные результаты расчета величины приращения балльности методом акустических жесткостей будут использованы при составлении карт-схем сейсмического микрорайонирования объекта «Хвостохранилище на руднике «Ветренский», а также для построения синтетических акселерограмм на горизонтальных и вертикальных составляющих для прогнозных землетрясений (ПЗ).

Список литературы

1. Алешина Е.И., Годзиковская А.А., Гунбина Л.В., Коломиец М.В., Седов Б.М. Сводный Каталог землетрясений Северо-Востока России с древнейших времен по 1974. Обнинск, Магадан: ГС РАН, 2015. 152 с.

2. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское золоторудное месторождение. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 250 с.

3. *Кузнецов В.М.* Схема тектонического районирования Колымо-Охотского водораздела, масштаб 1:1 000 000. ФГУП «Магадангеология», 2001. 8 листов.

4. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.

5. Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1971. 250 с.

6. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.:, 2015.

7. *РСН 60-86* «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ». 20 с.

8. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М., 1999. 57 с.

9. Физико-геологическое моделирование верхней части разреза в условиях многолетней мерзлоты // Г.С. Вахромеев, О.В. Павлов, В.И. Джурик, А.Г. Дмитриев. – Новосибирск: Наука, 1989. 129 с.

10. Mackey K.G., Fujita K., Hartse H.E., Stead R.J., Steck L.K., Gunbina L.V., Lesuk N., Shibaev S.V., Kozmin B.M., Imaev V.S., Gordeev E.I., Chebrov V.N., Massal'ski O.K., Gileva N.A., Bormatov V.A., Voitenok A.A., Levin Y.N., and Fokina T.A. //Seismicity Map of Estern Russia, 1960–2010 / Seismological Research Letters. Vol. 81, №5 September/ October 2010. P. 761–768.