

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ КРУПНЫХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

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

Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ «КФУ им. В.И. Вернадского»

295001 РК г. Симферополь, ул. Студенческая, 3

e-mail: bpustovitenko@mail.ru

Аннотация. Проведено детальное исследование современного состояния сейсмических свойств грунтов и сейсмической опасности на территории размещения и длительной эксплуатации хвостохранилища Северного горно-обогатительного комбината в районе г. Кривой Рог. Установлена пространственная неоднородность изменившихся инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов на территории хвостохранилища. Уточненные прогнозные значения расчетной сейсмичности I_R для отдельных участков оказались различающимися до 2 баллов: от 5 до 7 баллов для проектного землетрясения (ПЗ) и от 6 до 8 баллов – для максимально расчетного землетрясения (МРЗ). Наибольшим прогнозным сейсмическим воздействиям может быть подвержены как само «тело» хвостохранилища, так и ограждающая его дамба, для которых ПЗ – $I_R = 7$ баллов, а МРЗ – $I_R = 8$ баллов. С использованием большого объема экспериментальных данных, полученных двумя методами сейсмического микрорайонирования (СМР): основного (взрывы) и вспомогательного (микросейсмы), показана хорошая сходимость результатов по оценке вариаций сейсмической интенсивности. Оба метода можно отнести к равноточным и равноправным при проведении работ по СМР.

Ключевые слова: хвостохранилище, сейсмическая опасность, взрывы, микросейсмы, сейсмическое микрорайонирование, инженерно-геологические условия.

ВВЕДЕНИЕ

Хвостохранилища крупных горно-обогатительных комбинатов (ГОК) относятся к классу особо ответственных гидротехнических сооружений с повышенной экологической опасностью для населения и окружающей среды, повреждение или разрушение которых может привести к тяжелым экологическим и социально-экономическим последствиям. К числу основных факторов, оказывающих влияние на безопасность функционирования подобных объектов, являются сильные сейсмические воздействия, вызванные землетрясениями тектонической и техногенно-индуцированной природы.

На платформенной территории Украины в одном из крупных горнодобывающих районов г. Кривой Рог функционирует восемь хвостохранилищ, часть из которых эксплуатируется более 50 лет, например, Северный ГОК. Строительство хвостохранилищ, длительная их эксплуатация с расширением и постоянным наполнением отходов (хвостов),

наращивание ограждающих сооружений, приводит к изменению инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов, в частности, за счет повышенной обводненности. Эти изменения в свою очередь влияют на пространственные вариации сейсмических воздействий, вызванных сильными землетрясениями. В начале 21 столетия Отделом сейсмологии Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины (ныне институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского») были проведены полномасштабные комплексные исследования по уточнению сейсмической опасности территорий размещения основных ограждающих сооружений хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения нескольких крупных Криворожских ГОК, включая Северный, для оценки современной устойчивости защитных сооружений к сейсмическим нагрузкам с учётом изменившихся локальных инженерно-геологических условий.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы явилось обобщение полученного представительного объема экспериментальных данных по оценке современного состояния сейсмических свойств грунтов и сейсмической опасности территории хвостохранилищ на примере Северного ГОК [1]. При этом ставилась задача уделить основное внимание методическому аспекту по сравнительному анализу применения различных методов сейсмического микрорайонирования (СМР) в сложных и пространственно неоднородных условиях инженерно-геологических свойств грунтов на территории расположения объекта.

УТОЧНЕНИЕ ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА СЕВЕРНОГО ГОК В РАЙОНЕ Г. КРИВОЙ РОГ

Основную сейсмическую опасность для территории размещения хвостохранилищ Северного ГОК представляют подкоровые землетрясения, очаги которых расположены в области сочленения Восточных и Южных Карпат с Предкарпатским прогибом (зона Вранча), а также местные землетрясения, происходящие в пределах Украинского кристаллического щита в непосредственной близости к Северному ГОК [2].

Особенностью сильных землетрясений **зоны Вранча** является большая глубина очагов в

диапазоне $h = 80-160$ км [3]. Сейсмические колебания в мантии затухают медленнее, чем в земной коре, вследствие этого, область разрушительных и ощутимых воздействий от Вранчевских землетрясений простирается на значительные расстояния. За второе тысячелетие в зоне Вранча произошло 35 разрушительных землетрясений с магнитудой $M_w \approx 7.0$ и интенсивностью в эпицентре $I_0 \approx 8.0$ баллов [4]. Сейсмические воздействия от землетрясений 1802 и 1940 гг в районе г. Кривой Рог, включая Северный ГОК, достигали 5 баллов [5, 6]. Сейсмический потенциал зоны Вранча, соответствует максимальной магнитуде $M_w = 8.0$ [4, 7].

Местные землетрясения сравнительно слабые, их магнитуды не превышают значений $M_w \leq 4,5$ [7]. При этом в связи с незначительной глубиной очагов ($H = 5-10$ км) эпицентральные зоны охватывают небольшую площадь, а интенсивность сотрясений быстро уменьшается с увеличением расстояния. За последние 15 лет вблизи участка размещения хвостохранилища произошло четыре инструментально зарегистрированных тектонических землетрясения (21 мая 2001 г, 25 декабря 2007 г, 14 января 2011 и 23 июня 2013 г) в диапазоне магнитуд $M_w = 3.7-4.5$, с интенсивностью в эпицентральной зоне $I_0 = 5-6$ баллов [8-10]. Последнее по времени наиболее сильное Криворожское землетрясение с $M_w = 4,5$ и $I_0 = 6$ баллов, произошло 23 июня 2013 г на расстоянии около 13 км от Северного ГОК и ощущалось на его территории с интенсивностью 3 балла [10].

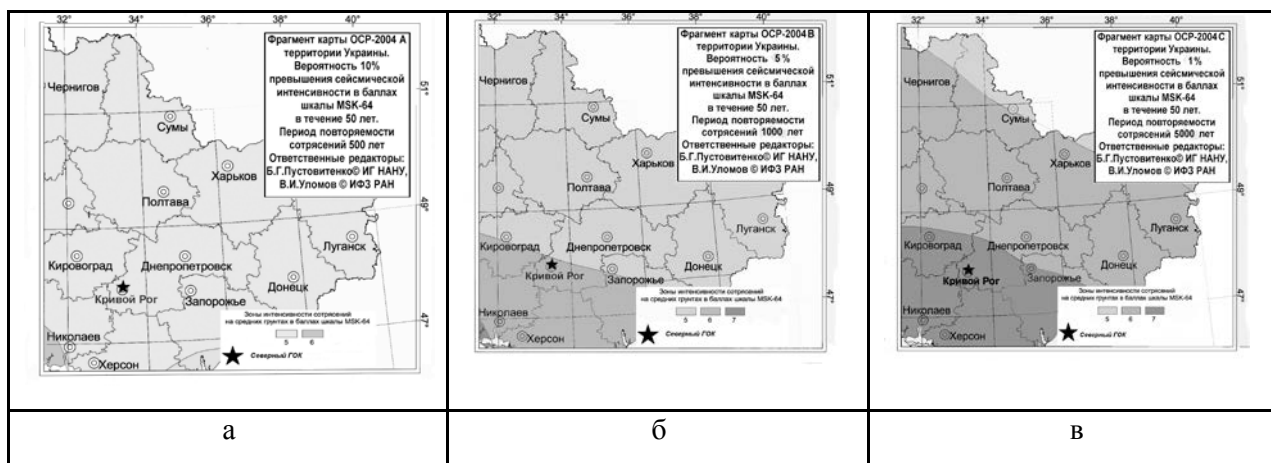


Рис.1. Фрагменты нормативных карт ОСР-2004 Украины для периодов повторяемости: 500 лет (а), 1000 лет (б) и 5000 лет (в), разработанных с детальностью 25 x 25 км [2, 11]

В соответствии с комплектом карт ОСР-2004 Украины [2, 11] нормативные значения сейсмических воздействий (исходная сейсмичность) для территории размещения

хвостохранилища Северного ГОКа для средних грунтовых условий составляют: $I_0 = 5$ баллов для периода повторяемости $T = 500$ лет и вероятности превышения указанной величины в течение 50

лет $P = 10\%$; $I_0 = 6$ баллов ($T = 1000$ лет, $P = 5\%$); $I_0 = 7$ баллов ($T = 5000$ лет, $P = 1\%$). При этом, для периода $T = 1000$ лет (карта «В») территория хвостохранилища расположена на границе 7- и 6-балльных зон (рис.1). Карты ОСР разработаны в мелком масштабе (с детальностью 25 x 25 км).

Для ответственных и экологически опасных объектов указанные на мелкомасштабных картах ОСР значения нормативной (исходной) сейсмичности по требованиям нормативных документов [11] должны быть уточнены в рамках работ по сейсмическому микрорайонированию. Уточнение исходной сейсмичности проводится с учетом более детальной геолого-геофизической информации о местных и локальных

сейсмогенерирующих структурах и о параметрах сейсмических событий в исследуемом районе за последние годы.

Комплексный анализ геолого-геофизических, геодезических и сейсмологических данных по работам [12-17] позволил выделить внутри крупного домена с магнитудой $M_{max}=4.0$ [2] местные сеймотектонические структуры вблизи г. Кривой Рог [18], которые отнесены к потенциально опасным зонам возможных очагов землетрясений (**ВОЗ**). Параметры моделей сейсмичности выделенных местных зон **ВОЗ** приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сейсмологические параметры местных потенциальных зон **ВОЗ** по работе [18]

№ п/п	Наименование разлома (структуры)	Π	L , км	L_p , км	Δ , км	H_{min} , км	M_{max}
1.	Криворожско-Кременчугский	I	320	65	5	15	4.7
2.	Фрагмент Конкского разлома	II	360	53	11	12.5	4.5
3.	Фрагмент южной части Девладовской зоны разломов	III	185	45	56	11	4.4

Условные обозначения: Π - порядок разлома; L - общая протяженность разлома; L_p - длина очаговой или тектонически активной части разлома; Δ - минимальное расстояние от потенциальной зоны **ВОЗ** до центра площадки хвостохранилища; H_{min} - минимальная глубина возникновения землетрясения; M_{max} - расчетная максимальная магнитуда.

С учетом новых данных о сеймотектонических особенностях и сейсмичности исследуемого района выполнены детальные расчеты прогнозной интенсивности по ячейкам с малыми размерами (2 x 2 км) и получена уточненная модель расчетной интенсивности с точностью до 0.01 балла по методике [2,19]. Обоснованность использования нецелочисленных значений при оценке сейсмической опасности дана в [20].

В результате уточненные значения нормативной сейсмичности для территории размещения Северного ГОК составили: $I_0=5.48$ баллов для периода повторяемости $T = 500$ лет; $I_0 = 6.32$ баллов для периода повторяемости $T = 1000$ лет; $I_0 = 6.56$ баллов для периода повторяемости $T = 5000$; $I_0 = 6.65$ баллов для периода повторяемости $T = 10000$ лет и

вероятностью превышения указанной величины в течение 50 лет $P = 0,5\%$.

Согласно [11, пункт 5.3] при расчете сейсмической устойчивости гидротехнических сооружений значения нормативной сейсмичности для периода повторяемости $T = 500$ лет принимается в качестве проектного землетрясения (**ПЗ**), для периода повторяемости $T = 5000$ лет – в качестве максимального расчетного землетрясения (**МРЗ**).

Полученные оценки исходной (нормативной) сейсмичности относятся к средней второй (II) категории грунтов по сейсмическим свойствам для всей территории Северного ГОКа. В зависимости от локальных вариаций сейсмических свойств грунта, усиливающих или ослабляющих сейсмические воздействия, исходная I_0 изменяется на величину ΔI , которая определяется методами СМР. Таким образом,

окончательная (расчетная) I_R сейсмическая опасность для отдельных площадок и оградительных сооружений хвостохранилища вычисляется как сумма $I_R = I_0 + \Delta I$.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЛОЩАДКИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА СЕВЕРНОГО ГОК

Сеоморфология. Геоморфологически территория Криворожского Северного ГОКа приурочена к району Бугско-Ингулецкой скульптурной равнины Приднепровской возвышенности [21]. Район охватывает междуречье р. Ингульца и его левых притоков - рек Саксагань и Желтая. Эта территория осложнена многочисленными балками, в одной из которых - балке Петрикова и расположен объект исследований. Абсолютные отметки поверхности в районе хвостохранилища изменяются от 54,3 м (на границе уреза воды в р. Саксагань) до 135,0 м на водоразделе, а непосредственно в зоне хвостохранилища (до его устройства) составляли 90,7 - 135,0 м.

В районе хвостохранилища Северного ГОКа расположены три действующих карьера - два в непосредственной близости от хвостохранилища: на юго-западе - Первомайский, на западе - Анновский, и третий - ЦГОКа на значительном удалении к юго-западу (около 26 км) от объекта исследований (рис. 3).

На момент выполнения работ хвостохранилище имело размеры: по длине - 7 км, по ширине - 3,5 км, общая площадь около 25 км². Отметки гребней ограждающих сооружений, при проектной отметке 161,0 м, достигали 147,5 - 153,0 м. При этом относительная максимальная высота плотины составляла 87,0 м.

Тектоника. В структурно-тектоническом отношении территория СевГОКа, железорудного Криворожского бассейна приурочена к железорудной Ингулецко-Саксаганской синклинали - одной из складок Криворожско-Кременчугского синклинория, входящего в Саксаганскую складчатую систему Центральной части Украинского кристаллического щита (УКЩ) [16]. К югу, в сторону Черноморской впадины, Криворожско-Кременчугский синклинорий, как и весь щит, опускается на значительную глубину, а на севере -

прослеживается в виде Кременчугской магнитной аномалии [22].

Геологическое строение. В геологическом разрезе изученной территории четко выделяются два структурных этажа: нижний - докембрийский кристаллический фундамент, сложенный комплексом интрузивных и метаморфических пород, и верхний - осадочный чехол из моноклинально субгоризонтально залегающих отложений палеогена и неогена, перекрытых четвертичными образованиями. В переходной зоне от кристаллического фундамента к осадочному чехлу четко прослеживается кора выветривания докембрийских пород [21].

Докембрийские образования (AR-PR) - комплекс метаморфических интрузивных пород представлен гранитами, мигматитами, пегматитами, песчаниками, наиболее метаморфизованные разности, которых переходят в кварциты, роговики, сланцы, джеспилиты и др. породы криворожской серии. Максимальная глубина залегания кровли докембрийских пород, по данным бурения, на водораздельной части - 62,6 м., минимальная - вплоть до выходов на дневную поверхность, - в долине реки Саксагань и в устьях выше упомянутых балок.

Кора выветривания метаморфических и интрузивных пород (**ePZ-KZ**) имеет повсеместное распространение в пределах всей изученной территории хвостохранилища и представлена первичными каолинами, переходящими вниз по разрезу в дресвяно-щебенисто-глыбовый материал - продукт разрушения интрузивных и метаморфических пород мощностью от 1,2 до 12,0 м.

Отложения палеогена, представлены песками и глинами олигоцена, сохранились только в понижениях палеорельефа. Глины от легких песчанистых до тяжелых, пески - разнозернистые (преимущественно пылеватые и мелкие), кварцево-глауконитовые мощностью от 0 до 19,8 м.

Отложения неогена распространены повсеместно, представлены: 1) песками мощностью от 1,0 до 16,5 м; 2) песками и супесями (в виде локальных линзовидных прослоев) мощностью до 2,5 м; и 3) нерасчлененными неоген-четвертичными (**N₂-Q**) глинами красно-бурыми с включениями известковых и гипсовых стяжений, железисто-марганцевых и карбонатных образований мощностью от нескольких метров до 17,8 м.

Четвертичные отложения (Q) имеют практически повсеместное распространение, и отсутствует только в пониженных местах эрозионного вреза балок. Они представлены четырьмя типами: 1–лессовидные эолово-делювиальные суглинки; 2– аллювиально-делювиальные балочные отложения; 3– почвенно-растительный слой; 4 – техногенные грунты.

Лессовидные эолово-делювиальные суглинки (vdP_{I-III}) плащеобразно перекрывает водораздельные пространства и значительную часть склонов балок. Мощность суглинков меняется от 1,0 м вблизи днища балок до 12,1 м. на водоразделах.

Аллювиально-делювиальные балочные отложения (adP_{III-H}) представлены темно-серыми суглинками, глинами и песками мощностью от первых метров до 18,0 м.

Почвенно-растительный слой представлен суглинком темно-серым до черного, с содержанием корней растений, иногда с примесью песка и супеси мощностью 0,2 м - 1,2 м.

Техногенные образования классифицируются преимущественно как промышленные отходы. Они распространены в чаше хвостохранилища, в дамбах и отвалах.

Намывные грунты (хвосты) распространены повсеместно в чаше хвостохранилища и представлены преимущественно супесями, суглинками и песками без четко прослеживаемых закономерностей в накоплении шламового материала по гранулометрическому составу.

Насыпная скальная вскрыша слагает вторичные дамбы хвостохранилища и представлена преимущественно глыбами, щебнем, дресвой кварцитов.

Насыпные грунты первичной дамбы хвостохранилища представлены преимущественно уплотненными до плотности сухого грунта порядка 1,65 т/м³ суглинками, в которых в виде отдельных прослоев мощностью до 1,5 м встречаются красно-бурые глины.

Гидрогеологические условия. Исследуемая территория в инженерно-гидрогеологическом отношении представляет собой сложную природно-техногенную систему. За последние 45 лет уровень грунтовых вод на отдельных участках хвостохранилища поднялся на 25,0 м. В пределах верхней 40-метровой толщи геологического разреза, принимаемой во внимание при

сейсмическом микрорайонировании (СМР) гидротехнических сооружений, выделяются 3 водоносных комплекса: 1 - водоносный комплекс техногенных, лессовидных, аллювиально-делювиальных и аллювиальных четвертичных отложений с водоупором неоген-плейстоценовых красно-бурых глин и тяжелых суглинков; 2 - водоносный комплекс неоген-палеогеновых отложений с водоупором толщи мергелистых глин и суглинков харьковской свиты; 3 - водоносный комплекс коры выветривания и верхней трещиноватой зоны кристаллических пород.

Первый от дневной поверхности водоносный комплекс, оказывающий основное влияние на вариации сейсмической интенсивности, располагается в толще техногенных, лессовидных, аллювиально-делювиальных и аллювиальных грунтов. До устройства комбината его уровень фиксировался на глубинах до 12-15 м (на водоразделах и склонах) и на 1,5 -2,5 м (в пойме реки). После устройства хвостохранилища уровень подземных вод начал резко подниматься и к 2010г зафиксирован в толще техногенных и лессовидных грунтов на глубинах от 0,8-2,5 м.

Инженерно-геологические процессы и явления. Для района характерны: плоскостная и глубинная водная эрозия, оползни, просадочность лессовидных грунтов.

Глубинная водная эрозия в настоящий период практически нейтрализована техногенной деятельностью человека.

Оползни фиксировались в бортах балки Петрикова в начальной стадии эксплуатации ее в качестве хвостохранилища. Позднее, после заполнения балки шламовыми массами, причин и предпосылок для развития природных оползней не стало. Однако, при последовательном наращивании дамб, высота хвостохранилища достигла значительных величин (25-35 м), что может привести к развитию оползневых процессов локального характера в дамбах хвостохранилища.

Просадочность грунтов лессовидной толщи наблюдается на подтопленных склонах и водоразделах. В настоящее время вследствие замачивания лессовидных грунтов произошло снижение их просадочных свойств, вплоть до полного исчезновения просадочности грунтов на отдельных участках.

Районирование участка работ по сейсмическим свойствам грунтов. Анализ приведенных выше данных по геологическому строению и инженерно-геологическим условиям участка размещения ограждающих сооружений хвостохранилища Северного ГОКа свидетельствуют о неоднородности данной территории по сейсмическим свойствам верхней 40-метровой толщи основания ограждающих

сооружений хвостохранилища. По принадлежности к различным геоморфологическим элементам, по геолого-генетическим признакам и физико-механическим свойствам грунтов в пределах территории проектируемой под строительство хвостохранилища площадью 25км² выделено 3 района и 6 участков с разной мощностью рыхлых отложений (рис.2).

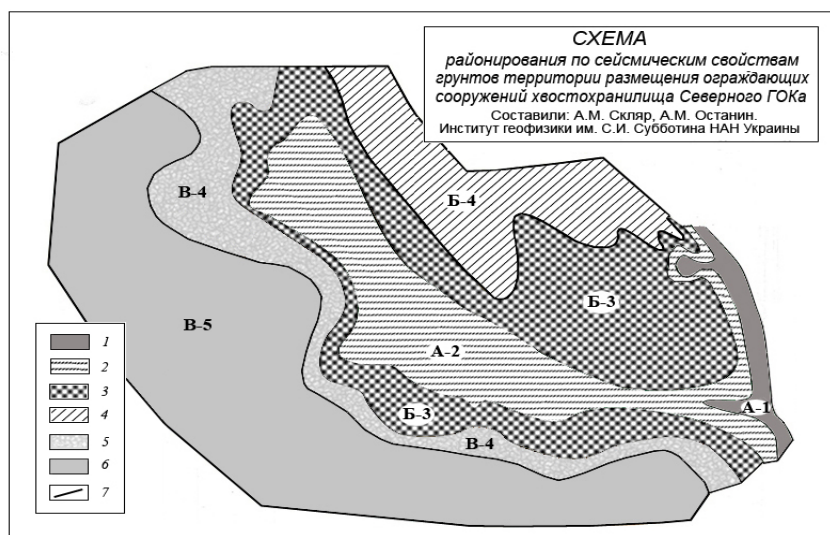


Рис.2. Схема районирования территории хвостохранилища Северного ГОК на период его проектирования (до обустройства ограждающих сооружений) по сейсмическим свойствам грунтов (I- III категории): 1, 2 – I; 3, 4 – II; 5, 6 – II- III; 7 – границы зон

Район «А» в геоморфологическом отношении охватывает днища балок Петрикова, в которой размещено хвостохранилище СевГОКа, и Брусова, ограничивающей хвостохранилище с востока. Для этой территории характерно неглубокое залегание гранитов, относящихся к грунтам I категории по сейсмическим свойствам и, соответственно, преобладание их по мощности в верхней 40-метровой толще, влияющей на расчетные показатели приращения сейсмической интенсивности. По мощности рыхлых отложений *H*, перекрывающих граниты в пределах района, выделены 2 участка: **А-1** – с мощностью рыхлых отложений до 10 м и **А-2** – с мощностью *H* от 10 до 20м. В целом, рассмотренный разрез в пределах днища балок в интервале 0,0-40,0 м характеризуется преобладанием по мощности грунтов I категории по сейсмическим свойствам

Район «Б» охватывает значительную часть территории хвостохранилища, включая междуречье балок Петрикова и Брусова, а также нижнюю часть правого борта б. Петрикова.

Характеризуется преобладанием в геологическом разрезе (до глубины 40м) грунтов II категории по сейсмическим свойствам. По отношению к базису эрозии – р. Саксагань, район «Б» является нагорной частью территории наименее подверженной замачиванию и подтоплению грунтов. В пределах района «Б» по мощности песчано-глинистых отложений, перекрывающих граниты, выделены участки: **Б-3** – с мощностью *H* от 20 до 30м, и **Б-4** – с *H* от 30 до 40м. В целом, геологический разрез района «Б» до глубины 40м сложен преимущественно грунтами II категории

Район «В» геоморфологически относится к правому борту балки Петрикова, где охватывает всю западную и юго-западную часть основания дамб хвостохранилища СевГОКа. Характеризуется значительной мощностью (50 м и более) песчано-глинистых отложений кайнозоя, залегающих в виде линзовато-слоистой толщи песков, глин и суглинков. По мощности песчано-глинистых отложений, перекрывающих граниты, в пределах района «В» выделены 2 участка: **В-4** с

мощностью H от 30 до 40м, и $B-5$ с H от 40 до 60 м. Согласно усредненным данным приведенного геологического разреза района «В» можно

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ

Учитывая пространственную неоднородность инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов района работ, сейсмическое микрорайонирование (СМР) территории размещения хвостохранилища и ограждающих сооружений Северного ГОКа проведено с большой детальностью по всей площади с применением комплекса методов, включавших: регистрацию специальных взрывов, высокочастотных микросейсм и сейсморазведочные наблюдения (метод сейсмических жесткостей) [23].

Метод регистрации взрывов относится к основным методам СМР [24]. Он основан на подоби волновых колебаний слабых землетрясений и взрывов и является наиболее корректным подходом к имитации ожидаемых сильных воздействий для территорий с низкой

сделать вывод об относительно равном соотношении грунтов II и III категории.

сейсмической активностью [25]. При проведении полевых наблюдений сейсмометры устанавливались в трех взаимно перпендикулярных направлениях: восток-запад (EW), север-юг (NS) и вертикальном (Z). За время работы из трех карьеров: ближайших Первомайского и Анновского, а также удаленного карьера Центрального ГОК (рис.3) зарегистрировано 8 массовых промышленных взрывов (масса заряда от 104 до 727 тонн) в 25 пунктах наблюдений, охватывающих все выделенные участки с различными инженерно-геологическими условиями на исследуемой территории. На Первомайском карьере проводились взрывы мощностью от 535 до 727 тонн, на Анновском карьере – от 235 до 450 тонн, взрывы в карьере ЦГОК не превышали 250 тонн. Расположение пунктов взрывов (карьеров) показано на рис.3. Средние расстояния от карьеров до хвостохранилища составляют: Анновский – 6,5 км, Первомайский – 7,5 км, карьер ЦГОК – 26 км [1].

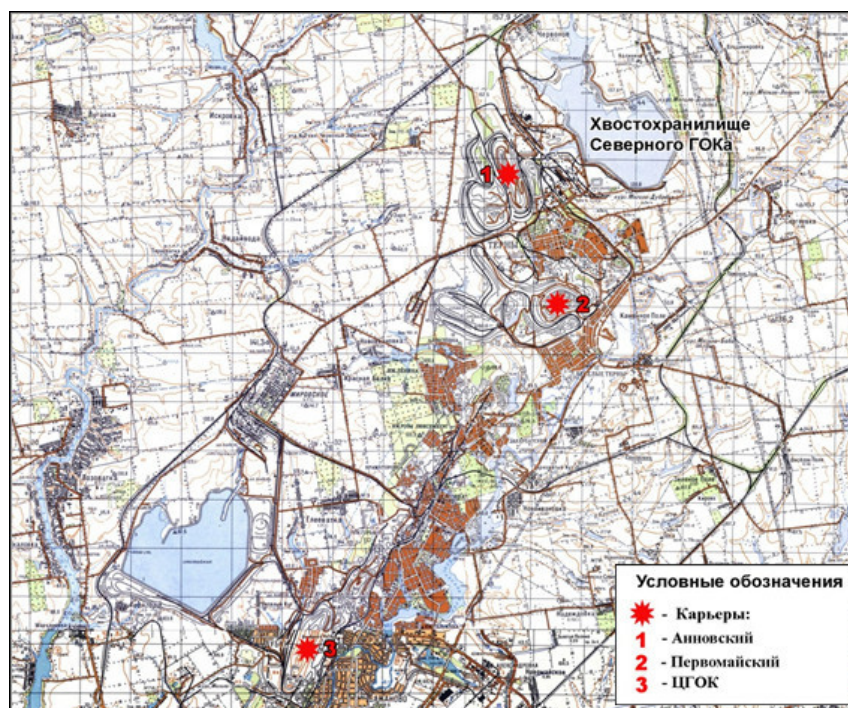


Рис. 3. Схема расположения хвостохранилища Северного ГОК и пунктов взрывов (карьеров).

Методика обработки и интерпретации.
Анализ полученных материалов показал, что по

форме и продолжительности записи взрывов из различных карьеров заметно различаются между

собой. Для записей взрывов Анновского карьера характерна относительно небольшая продолжительность колебаний (до 15 сек.) с достаточно четкими вступлениями объемных и поверхностных волн (рис. 4 а).

Записи взрывов Первомайского карьера общей продолжительностью до 40 сек. состоят из нескольких разделенных между собой групп колебаний примерно одинаковой продолжительности и частотного состава (рис. 4 б). Отмеченная особенность записей, обусловленная, по-видимому, техническими условиями производства взрывов (количество и

время замедлений, масса одновременно взрываемой взрывчатки), позволяет рассматривать выделяемые на записи группы колебаний в качестве отдельных взрывов и использовать их для оценки приращений сейсмической интенсивности.

Волновая картина на записях взрывов в карьере ЦГОК в связи с большим эпицентральной расстоянием и значительными поглощением высокочастотных колебаний представлена квазигармоническими колебаниями интерференционного типа (рис.4 в).

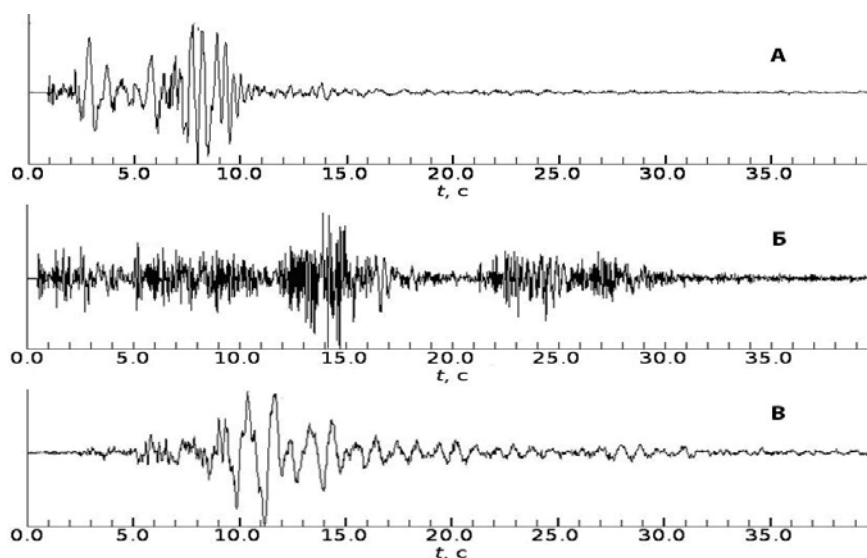


Рис. 4. Примеры записей взрывов (по составляющей N-S) на эталонном пункте: 16.09.2010 г., Анновский карьер (А); 09.09.2010 г., Первомайский карьер (Б); 24.09.2010 г., карьер ЦГОК (п. Глееватка) (В).

Предварительная интерпретация полевых материалов, заключающаяся в качественном сопоставлении записей взрывов с инженерно-геологическими условиями в пунктах наблюдений, показала, что основное влияние на интенсивность сейсмических колебаний при взрывах оказывает мощность рыхлых отложений. В пунктах регистрации с мощностью песчано-глинистых отложений $H > 30$ м на записях отмечаются колебания резонансного типа с частотами, близкими к преобладающим для слоя данной мощности. На рис.5 приведены примеры характерных спектров записей взрывов в пунктах, расположенных на грунтах с различной мощностью песчано-глинистых отложений.

Приращение сейсмической интенсивности по методу взрывов оценено по отношению максимальных амплитуд записей с использованием формулы [24]:

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

ΔI - приращение сейсмической интенсивности в баллах шкалы **MSK-64** на исследуемом пункте;

$A_{i.max}$ и $A_{эт.max}$ – максимальные амплитуды колебаний для различных компонент на исследуемом и эталонном пунктах соответственно.

Согласно полученным расчетам диапазон изменений приращений сейсмической интенсивности для грунтовых условий исследуемой территории составляет $\Delta I = 2,2$ балла (от -0,76 до +1,34 балла). При этом, как указывалось выше, основной причиной

изменения ΔI является мощность песчано-глинистых отложений. Другие факторы, такие, как категория грунтов по сейсмическим свойствам и глубина залегания уровня грунтовых вод, существенного влияния на величину приращений сейсмической интенсивности в явном виде не оказали. Это подтверждается незначительными различиями в приращениях

сейсмической интенсивности для инженерно-геологических участков **Б-4** ($\Delta I_{cp} = +0,78$ балла) и **В-4** ($\Delta I_{cp} = +0,82$ балла), сложенных песчано-глинистыми грунтами одинаковой мощности, относящихся ко **II** и **II-III категориям** по сейсмическим свойствам, соответственно (таблица 2).

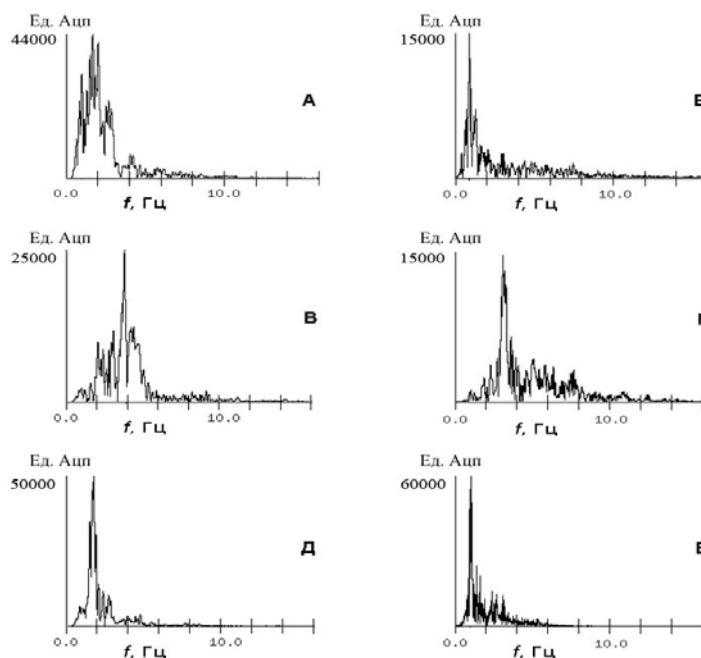


Рис. 5. Примеры спектров записей взрывов: А – взрыв № 2 (Анновский карьер), п/н № 1 (эталон); Б – взрыв № 8 (карьер ЦГОК), п/н № 1 (эталон); В – взрыв № 2 (Анновский карьер), п/н № 8, мощность рыхлых отложений $H = 20$ м; Г – взрыв № 3 (Первомайский карьер), п/н № 13, $H = 30$ м; Д – взрыв № 2 (Анновский карьер), п/н № 3, $H = 40$ м; Е – взрыв № 6 (карьер ЦГОК), п/н № 6 (дамба). Номера взрывов и пунктов регистрации даны по работе [1].

Метод микросейсм является вспомогательным при проведении СМР [24]. Он основан на представлении о грунте, как о некотором «фильтре», выделяющем из микросейсмического поля колебания определенного частотного диапазона с амплитудным уровнем, зависящем от инженерно-геологических условий в пункте наблюдения.

В данной работе качестве эталонных приняты записи микросейсм в пункте, расположенном на грунтах **I** категории по сейсмическим свойствам, совмещенном с эталонным пунктом регистрации взрывов. Дополнительно для метода микросейсм использован также эталонный пункт, расположенный на грунтах **II** категории.

Использование для оценки ΔI двух эталонных пунктов обусловлено необходимостью обеспечения стандартности наблюдений в условиях большой протяженности исследуемой территории и наличии в ее пределах значительного количества неравномерно распределенных источников техногенных помех.

Всего зарегистрировано и обработано 102 трехкомпонентные записи микросейсм, часть из них получена в пунктах, совмещенных с записью взрывов.

Общий анализ полученных данных показал, что основной вклад в формирование волновой картины вносят микроколебания техногенной природы в частотном диапазоне $f = 2,0-7,0$ Гц (рис. 6).

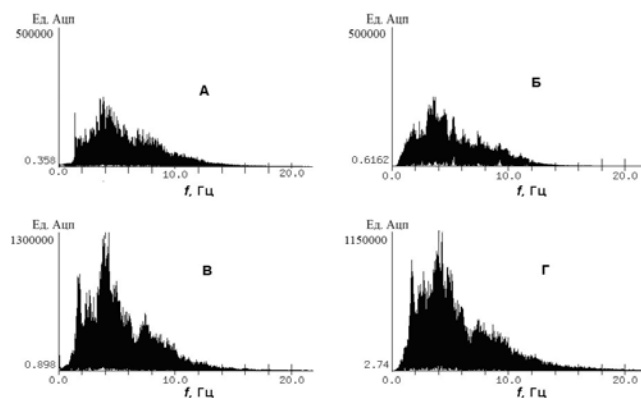


Рис.6. Спектры записей микросейсм 08.09.2010 г. в пункте № 8 в различное время суток.

Составляющая *E-W*: А – $t = 01^{00}-03^{00}$; Б – $t = 05^{00}-07^{00}$; В – $t = 10^{00}-12^{00}$; Г – $t = 15^{00}-17^{00}$

Результаты синхронных круглосуточных регистраций в различных инженерно-геологических условиях показали, что интенсивность микросейсм в дневное время ($07^{00}-18^{00}$ час.) примерно в 2 раза превышает интенсивность микроколебаний в ночное время ($20^{00}-06^{00}$ час.). При этом в случае отсутствия близких источников 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. 6). Отмеченные особенности позволяют сделать вывод о близости микросейсмического процесса к стационарному в отдельных временных интервалах и использовать записи микросейсм для решения задач сейсмического микрорайонирования.

Приращения сейсмической интенсивности (ΔI) по методу микросейсм рассчитаны по рекомендуемой формуле [23]:

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

$A_{i,max}$ и $A_{эт,max}$ – осредненные по всем записям и трем составляющим максимальные амплитуды микроколебаний на исследуемом и эталонном пунктах наблюдений

Анализ расчетов показал, что для записей микросейсм, также как и для записей взрывов, наблюдается тенденция возрастания амплитудного уровня колебаний с увеличением мощности рыхлых отложений. При мощности песчано-глинистых отложений $H \geq 30$ м приращение сейсмической интенсивности ΔI составляет от +0.62 до +0.98, а для участков с мощностью рыхлых отложений до 10 м наблюдается уменьшение интенсивности в среднем на $\Delta I = -0.60$ балла.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СМР

В пределах территории размещения ограждающих сооружений хвостохранилища Северного ГОК выделено несколько зон с различными сейсмическими свойствами грунтов, как усиливающими, так и ослабляющими исходные (нормативные) сейсмические воздействия (таблица 2). На сравнительно малой площади (около 25 км^2) вариации приращения сейсмической интенсивности находятся в диапазоне от $\Delta I = -0.67$; до $\Delta I = +1.28$ балла относительно исходной сейсмичности. Соответственно, расчетные прогнозные сейсмические воздействия I_R в пределах территории хвостохранилища Северного ГОК на разных участках будут различаться на 2 балла.

В таблице 2 представлены вариации ΔI полученные методом взрывов ($\Delta I_{взр}$) и микросейсм ($\Delta I_{микр}$) и их средние значения по двум методам ($\Delta I_{сп}$), как по всей совокупности данных на квазиоднородных участках ($\Delta I_{сп1}$), так и по данным совмещенных пунктов регистрации ($\Delta I_{сп2}$). Средние значения по группе пунктов даны в пределах как одного метода, так и двух методов. В скобках указаны значение погрешностей. Осреднение проводилось по всем пунктам регистрации (n) на территории отдельных зон (А-В, дамба). Здесь же приведены окончательные расчетные значения прогнозных сейсмических воздействий I_R для ПЗ ($T=500$ лет) и МРЗ ($T=5000$ лет).

Таблица 2. Приращение сейсмической интенсивности по методу взрывов и микросейсм и уточненные I_R для инженерно-геологических условий территории хвостохранилища Северного ГОК

Зона, $H, м$	Все пункты					Совмещенные пункты				ΔI	I_R T=500	I_R T=5000
	$\Delta I_{взр}$	n	$\Delta I_{микр}$	n	$\Delta I_{сп1}$	$\Delta I_{взр}$	$\Delta I_{микр}$	$\Delta I_{сп2}$	n			
А-1 ≤ 10	-0.76 (0.07)	3	-0.63 (0.08)	3	-0.69 (0.06)	-0.73 (0.08)	-0.57 (0.06)	-0.65 (0.08)	2	-0.67	4.81	5.89
А-2, 10-20	+0.23 (0.03)	3	+0.16 (0.05)	7	+0.20 (0.03)	+0.23	+0.34	+0.28 (0.06)	1	+0.24	5.72	6.8
Б-3, 20-30	+0.42 (0.05)	10	+0.24 (0.05)	9	+0.33 (0.09)	++0.37 (0.04)	+0.28 (0.04)	+0.33 (0.05)	5	+0.33	5.81	6.89
Б-4, 30-40	+0.78 (0.14)	8	+0.62 (0.11)	23	+0.70 (0.08)	+0.71 (0.07)	+0.69 (0.11)	+0.70 (0.01)	4	+0.70	6.18	7.26
В-4, 30-40	+0.82 (0.11)	4	+0.67 (0.12)	17	+0.75 (0.08)	+0.82 (0.11)	+0.58 (0.06)	+0.70 (0.12)	2	+0.72	6.20	7.28
В-5, 40-50	+0.98 (0.15)	7	+0.97 (0.15)	22	+0.98 (0.01)	+1.01 (0.13)	+0.94 (0.08)	+0.98 (0.04)	4	+0.98	6.46	7.54
Дамба	+1.34 (0.05)	6	+1.16 (0.14)	18	+1.25 (0.09)	+1.32 (0.05)	+1.30 (0.07)	+1.31 (0.01)	4	+1.28	6.76	7.84

Из таблицы 2 видно, что уменьшение сейсмической интенсивности (отрицательные приращения) соответствуют только площадям развития рыхлых отложений мощностью до 10 м, подстилаемых кристаллическими породами Украинского щита (грунты I категории по сейсмическим свойствам в зоне А-1). Эта зона занимает небольшую, локализованную в пространстве территорию в восточной части исследуемого объекта (рис.2). Близкими к нулевым приращениям сейсмической интенсивности ($\Delta I_{сп1} = +0.24 \div +0.33$) характеризуется территория с песчано-глинистыми отложениями кайнозоя мощностью $H = 10-30$ м, залегающими на коренных докембрийских гранитах (зоны А-2, Б-3) в центральной части хвостохранилища. Для периферической части территории с песчано-глинистыми отложениями мощностью от 30 до 50 м (зоны Б-4, В-4 и В-5) ожидается заметное усиление сейсмических колебаний с приращением от $\Delta I_{сп1} = +0.70$ до $\Delta I_{сп1} = +0.98$ балла. Для ограждающих дамб хвостохранилища, сложенных в основном техногенными

отложениями, приращения сейсмической интенсивности получились наибольшие: $\Delta I_{сп1} = +1.28$ балла относительно исходной сейсмичности.

Отдельно сравним ΔI , полученные на совмещенных пунктах регистрации, для исключения ошибок за счет возможных пространственных особенностей внутри квазиоднородных зон. В большинстве случаев $\Delta I_{сп2}$ на совмещенных пунктах либо полностью совпали с $\Delta I_{сп1}$, либо их значения находились в пределах разбросанных как внутри метода, так и между ними.

В целом получена тесная корреляционная связь между значениями $\Delta I_{взр.}$ по основному методу (взрывы) и вспомогательному $\Delta I_{микр.}$ (микросейсм) с высоким коэффициентом корреляции ρ [26]:

$$\Delta I_{микр.} = (0.92 \pm 0.05) \Delta I_{взр.} + (0.01 \pm 0.04), \rho=0.97$$

Из приведенной формулы видно, что при $\Delta I_{взр.} = 1$ приращение ΔI по методу микросейсм

с учетом погрешностей может находиться в пределах $\Delta I_{\text{микр}} = 0.86 \div 1.01$ (при максимальном разбросе ошибок в обе стороны). Отсюда следует, что оба метода являются равноточными и равнозначными.

Зависимость средних значений приращения сейсмических интенсивностей ΔI от мощности слоя песчано-глинистых отложений H для всей рассмотренной территории Северного ГОК представлена в виде уравнения прямой [26]:

$$\Delta I = (0.041 \pm 0.004)H - (0.78 \pm 0.14), \quad \rho = 0.97$$

Влияние факторов «категория грунтов по сейсмическим свойствам» и «глубина залегания уровня грунтовых вод» на интенсивность микроколебаний менее выражено и по результатам работ на данной территории прямой корреляционной связи не установлено.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования современного состояния сейсмических свойств грунтов и сейсмической опасности на территории размещения основных ограждающих сооружений хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения экологически опасного хвостохранилища Северного горно-обогатительного комбината установлено следующее:

1. Сейсмическая опасность изученной территории определяется сильными подкоровыми землетрясениями очаговой зоны Вранча, расположенной в зоне 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. Уточненные нормативные (исходные) значения сейсмических воздействий для средних грунтовых условий района Северного ГОК составляют: $I_0 = 5.48$ балла для проектного землетрясения (ПЗ) один раз в 500 лет с вероятностью превышения указанной величины в течение 50 лет $P = 10\%$; для максимального расчетного землетрясения (МРЗ) с периодом повторяемости $T = 5000$ лет исходная сейсмичность составит $I_0 = 6.56$ балла при минимальной вероятности превышения $P = 1\%$;

3. Инструментальными методами сейсмического микрорайонирования на

исследованной территории хвостохранилища получен широкий диапазон вариаций приращения сейсмической интенсивности от $\Delta I = -0.67$ до $+1.28$ балла за счет пространственной неоднородности современных локальных инженерно-геологических условий грунтов, вызванной многолетней эксплуатацией хвостохранилища.

4. К неблагоприятным в сейсмическом отношении факторам, распространенным на изученной территории, дополнительно относятся: плоскостная и глубинная водная эрозия, оползни, просадочность лессовидных грунтов.

5. Уточненные прогнозные значения расчетной сейсмичности для существующих в настоящее время природных и инженерно-геологических свойств грунтов на сравнительно не большой по площади территории хвостохранилища различаются между собой до 2 баллов и для отдельных участков составляют:

- Для локализованной зоны А-1 проектное землетрясение (ПЗ) – $I_R = 4.81$ балла (округленно 5 баллов); максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) – $I_R = 5.89$ (6 баллов).

- Для зон А-2, Б-3 в центральной части хвостохранилища (ПЗ) – $I_R = 5.72 \div 5.81$ балла (6 баллов), МРЗ – $I_R = 6.8 \div 6.89$ (7 баллов).

- Для периферической части территории (зоны Б-4, В-4) с песчано-глинистыми отложениями мощностью от 30 до 50 м ПЗ – $I_R = 6.18 \div 6.47$ (6 баллов), МРЗ – $I_R = 7.26 \div 7.54$ балла (7 ÷ 8 баллов).

- Наибольшим прогнозным сейсмическим воздействием может быть подвержена ограждающая дамба, для которой проектное землетрясение ПЗ – $I_R = 6.76$ (7 баллов), МРЗ – $I_R = 7.84$ балла (8 баллов).

6. Сравнительный анализ двух методов: основного (взрывы) и вспомогательного (микросейсмы) по большому объему экспериментальных данных показал хорошую сходимость результатов по оценке ΔI . Оба метода можно отнести к равноточным и равноправным при проведении работ по СМР. В связи с этим, метод микросейсм можно также принять в качестве основного для широкого использования в практических задачах инженерной сейсмологии, в том числе при изысканиях на площадках строительства ответственных и экологически опасных объектов, где метод взрывов по разным причинам может быть недоступен.

7. Полученные количественные значения ΔI на исследуемой территории

хвостохранилища Северного ГОКа показали, что метод инженерно-геологических аналогий по категории грунтов не отражает реальную картину пространственных вариаций сейсмической интенсивности, связанную с резким изменением инженерно-геологической и гидрологической обстановки. Его применение [11, табл. 5.1] допустимо лишь на стадии инженерных изысканий для проектирования подобных объектов. Во избежание ошибок в оценках расчетной сейсмической опасности и, соответственно, в расчетах сейсмических нагрузок на здания и сооружения использование только метода аналогий по табл.5.1 [11] возможно лишь в комплексе с инструментальными методами.

Результаты выполненных исследований являются основой для расчета сейсмических нагрузок с целью обеспечения современной сейсмоустойчивости ограждающих сооружений хвостохранилища и установления предельного срока их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скляр А.М. Сейсмическое микрорайонирование территории расположения ограждающих сооружений хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения ОАО «СевГОК» / Скляр А.М., Князева В.С., Селезнева О.А., Останин А.М., Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. (Отчет по теме)- Фонды ИГФ НАНУ, Симферополь – Киев, 2010, –75 с
2. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности // Геофизический журнал, №3, т.28, 2006. – С.54–77.
3. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР.- М.: Наука, 1977. – С. 536
4. Алказ В.Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории республики Молдова – Ch: Elena – VI SRL. – 2007. – 229 с.
5. Москаленко Т.П. Карты изосейст землетрясений Карпатского региона // Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г и его последствия. – М.: Наука, 1980. – С.86–105.
6. Никонов А.А. Сильнейшее в Восточной Европе Карпатское землетрясение 26 октября 1802г-новые материалы и оценки// Доклады АН, 1996, том 347, №1. – С. 99–102.
7. Пустовитенко А.А. Сейсмологические основы прогноза сейсмической опасности территории юга Украины // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Киев, – 2008. – 21 с.
8. 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. - // Геофизический журнал. - № 2, 2010, том 32. – С. 75–97.
9. Пустовитенко Б.Г., Бондарь М.Н., Князева В.С., А.М.Скляр, Эреджепов Э.Э. Криворожское- II землетрясение 14 января 2011 г. $M_S=3.6$, $M_w=3.6$, $I_0=5$ (Украина, Днепропетровская область) //Землетрясения Северной Евразии в 2011 г.– Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. –2017.– С. 305-313
10. 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.
11. Будівництво в сейсмічних районах України. ДБН України В.1.1.12-2014./ научн. Руководитель Ю.И.Немчинов/ – Київ: Мінбуд України, 2014, VI –110с.
12. Карта глубинного геологического строения Украинской ССР и Молдавской ССР, м-б 1:1000000. /Галецкий Л.С., Чекунов А.В. – Киев: ЦТЭ, 1984. – 4 листа.
13. Карта гипсометрии подошвы плитных комплексов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки) м-ба 1:1000000. /Под ред. Н.А.Крылова. – Киев: ЦТЭ, 1988. – 4 листа.
14. Карта разрывных нарушений и основных зон линияментов юго-запада СССР с использованием материалов космической съемки. Масштаб 1:1000000. /Ред. Н.А.Крылов. - М.: ГУГиК, 1988. – 4 листа.
15. Карта неотектоники юго-запада СССР. М-ба 1:1000000 /Ред. А.М. Маринич. – М.: Мингео СССР. 1987. – 4 л.
16. Гинтов О.Б. Зоны разломов Украинского щита. Влияние процессов разломообразования на формирование структуры земной коры. //Геофизический журнал. – 2004. – 26, № 3. - с. 3-24.
17. Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Кутас Р.И. Глубинное строение Украинского щита // Геофизический журнал. – 2002. – № 6. – С. 36–48.

18. Скляр А.М. Сейсмическое микрорайонирование по площадкам новых хвостохранилищ НКГОКа и ЮГОКа, «III карта» и «II карта», стадия ТЭО» / Скляр А.М., Королев В.А., Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Князева В.С., Останин А.М., Сафронов О.Н., Пивень Н.П., Иванченко Е.П., Дейнеко С.И. (Отчет по теме № 8/01). – Фонды ИГФ НАНУ, Симферополь – Киев, 2002. – 72с

19. Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вестник ОГГН РАН. – №1, 1999. – С. 1–32.

20. 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, г. Сочи, –2003, – С.22.

21. Нестеренко Г.Ф. Сейсмическое микрорайонирование площадки хвостового хозяйства / Нестеренко Г.Ф., Горюн Н.Н., Бучинская В.И., Чередниченко Л.Н.(отчет по теме). – Фонды Государственного предприятия «Киевский институт инженерных изысканий и исследований – «ЭНЕРГОПРОЕКТ» – Киев – 2010. – 10с.

22. Єнтін В.А. Геофізична основа тектонічної карти України масштабу 1:100000. – // Геофіз. журн. – 2005. – 27, № 1. – С. 74-84.

23. Методические рекомендации по составу и методике оценки сейсмических и геодинамических условий действующих энергетических объектов с использованием геоинформационных технологий. – Москва – 1998. – 117с.

24. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. /Под ред. С.А.Федорова. – М: Госстрой СССР, 1985. – 136с.

25. 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.

26. Скляр А.М., Пустовитенко Б.Г., Скляр А.А., Кязева В.С., Останин А.М. Пространственные вариации сейсмической интенсивности в сложных инженерно-геологических условиях // Будівельні конструкції Міжвідомчий науково-технічний збірник

наукових прац (будівництво), Вип.83, том 2 – Київ: ДП НДІБК, 2016 – С. 462-470.

REFERENCES

1. Sklyar A.M. Seismic microdistricting of the location of the tailings and circulating water supply facilities of JSC SevGOK / Sklyar AM, Knyazeva VS, Selezneva OA, Ostanin AM, Pustovitenko BG, Kulchitsky V.E. , Pustovitenko AA (Report on the topic) - Funds IGF NASU, Simferopol - Kiev, 2010, - 75.c

2. Pustovitenko BG, Kulchitsky VE, Pustovitenko AA New maps of the general seismic zoning of the territory of Ukraine. Features of the model of long-term seismic hazard // Geophysical Journal, №3, t.28, 2006. - P.54-77.

3. A new catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR. - Moscow: Nauka, 1977. - P. 536.

4. Alkaz V.G. The basis for forecasting seismic hazard and seismic risk of the territory of the Republic of Moldova - Ch: Elena - VI SRL. - 2007. - 229 p.

5. Moskalenko, TP Maps of isoseism of earthquakes in the Carpathian region // Carpathian earthquake on March 4, 1977 and its consequences. - Moscow: Nauka, 1980. - P.86-105.

6. Nikonov AA The strongest in Eastern Europe, the Carpathian earthquake on October 26, 1802-new materials and assessments // Reports AN, 1996, Vol. 347, No. 1. - P. 99-102.

7. Pustovitenko A.A. Seismological foundations of the forecast of seismic hazard of the territory of the south of Ukraine // Abstract of the thesis for obtaining the scientific degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences. - Kiev, - 2008. - 21 with.

8. Pustovitenko BG, Kulchitsky V.E., Pustovitenko AA, Sklyar A.M. Instrumental and macroseismic data on processes in the focal zone of the Krivoy Rog earthquake December 25, 2007 - // Geophysical Journal. - № 2, 2010, volume 32. - P. 75-97.

9. Pustovitenko BG, Bondar MN, Knyazeva VS, A.M. Sklyar, Eredzhepov E.E. Kryvyi Rih-II earthquake January 14, 2011 MS = 3.6, Mw = 3.6, IO = 5 (Ukraine, Dnepropetrovsk region) // Earthquakes of Northern Eurasia in 2011- Obninsk: FIC ECS RAS. -2017.- P. 305-313

10. Sklyar AM, Knyazeva VS, Sklyar AA, Ostanin A.M. Macroseismic effect of the Krivoy Rog earthquake on June 23, 2013 // Seismological Bulletin of Ukraine for 2013.- Sevastopol: Ecological Hydrophysics NPC, -2014. - P.48-53.

11. Budivnitsvo in the seismic regions of Ukraine. ДБН України В.1.1.12-2014. / Научн. Director Yu.I. Nemchinov / - Kiev: Minbud of Ukraine, 2014, VI -110s.
12. Map of the deep geological structure of the Ukrainian SSR and the Moldavian SSR, mb 1: 1000000. / Galetskiy LS, Chekunov AV - Kiev: TEC, 1984. - 4 sheets.
13. Map of the hypsometry of the sole of the plate complexes of the south-west of the USSR (using space-based survey materials) mba 1: 1,000,000. Ed. N.A. Krylov. - Kiev: TEC, 1988. - 4 sheets.
14. Map of rupture violations and the main zones of liniment in the southwest of the USSR using space survey materials. Scale 1: 1,000,000. / Ed. NA Krylov. - Moscow: GUGiK, 1988. - 4 sheets.
15. Map of neotectonics in the south-west of the USSR. M-ba 1: 1000000 / Ed. A.M. Marynich. - M: Mingeo USSR. 1987. - 4 liters.
16. Gintov, O.B. Zones of faults of the Ukrainian shield. Influence of the processes of fault formation on the formation of the structure of the earth's crust. // Geophysical Journal. - 2004. - 26, No. 3. - p. 3-24.
17. Starostenko VI, Pashkevich IK, Kutas RI The deep structure of the Ukrainian Shield // Geophysical Journal. - 2002. - No. 6. - P. 36-48.
18. Sklyar A.M. Seismic microzoning on the sites of new tailing dumps of NKGOK and YUGOK, "III map" and "II map", stage of feasibility study "/ Sklyar AM, Korolev VA, Pustovitenko BG, Kulchitsky VE, Knyazeva V .S., Ostanin AM, Safronov ON, Piven. N. P., Ivanchenko EP, Deineko S.I. (Report on the topic No. 8/01) .- Funds IGF NASU, Simferopol - Kiev, 2002. -72c
19. Ulomov V.I. Seismogeodynamics and seismic zoning of Northern Eurasia // Vestnik OGGN RAN. - № 1, 1999. - P. 1-32.
20. Pustovitenko BG, Kulchitsky V.E., Sklyar A.M. On the use of non-integer intensity values in assessing the seismic hazard of the territories // Abstracts V of the Russian National Conference on Earthquake-Resistant Construction and Seismic Zoning, Sochi, -2003, - P.22.
21. Nesterenko G.F. Seismic microdistricting of the tailing site / Nesterenko GF, Gorjun NN, Buchinskaya VI, Cherednichenko LN (report on the topic) .- Funds of the State Enterprise "Kiev Institute of Engineering Survey and Research -" ENERGOPROEKT " - Kiev - 2010. - 10s.
22. Єнтін В.А. The geoficific basis of the tectonic picture of Ukraine is 1: 100000 scale. - // Geofiz. journal. - 2005. - 27, No. 1. - P. 74-84
23. Methodological recommendations on the composition and methodology of seismic and geodynamic conditions of existing energy facilities using geoinformation technologies. - Moscow - 1998. - 117s.
24. Recommendations on seismic micro-zoning at engineering surveys for construction. Ed. S.A.Fedorova. - M: Gosstroy USSR, 1985. - 136s.
25. Memetova NS, Pustovitenko BG Features of dynamic characteristics of seismic waves of industrial explosions. // Seismological Bulletin of the Western Zone of the System of Seismic Observations of Ukraine and Moldova for 1990. - Kiev: Naukova Dumka, 1994. - P.180-187.
26. Sklyar AM, Pustovitenko BG, Sklyar AA, Kiazeva VS, Ostanin A.M. Spatial variations of seismic intensity in complex engineering-geological conditions // Budivelnye konstruksii: Mizhvidomchii naukovo-tehnichny zbimik naukoviches prac (budivnitsutvo), Vip.83, vol. 2 - Kiev: DP NDIBK, 2016 - C. 462-470.

SEISMIC PROPERTIES OF SOILS AND SEISMIC HAZARD ASSESSMENT ON TERRITORY OF A
MAJOR TAILINGS MINING AND PROCESSING PLANTS

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

SUMMARY A detailed study of the current state of seismic properties of soils and seismic hazard in the territory of the tailings storage facility of the Northern mining and processing plant in the area of Krivoy ROG. The spatial heterogeneity of changed engineering-geological and seismic properties of soils on the territory of the tailings storage facility is established. The specified forecast values of the calculated IR seismicity for individual sites were different to 2 points: from 5 to 7 points for the projected earthquake (PE) and from 6 to 8 points for the maximum calculated earthquake (MCE).

Key words: tailing dump, seismicity, explosions, microseisms, seismic microzoning, engineering-geological conditions.