Акционерное общество «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» имени С.Я. Жука»
АО «Институт Гидропроект»
Ф И Л И А Л
«Центр службы геодинамических наблюдений в энергетической отрасли»
«ЦСГНЭО»

Заказчик: ПАО «РусГидро»
(Филиал ПАО «РусГидро» - «Каскад Кубанских ГЭС»)

Договор №12-НИР-2022-ККГЭС
от 30.03.2022 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

«Оценка прочности и устойчивости плотины с учетом уточненных данных о сейсмичности района плотины Егорлыкского водохранилища»

Изм.	№ док.	Подп.	Дата

2022

Акционерное общество «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» имени С.Я. Жука»
АО «Институт Гидропроект»
Ф И Л И А Л
«Центр службы геодинамических наблюдений в энергетической отрасли»
«ЦСГНЭО»

Заказчик: ПАО «РусГидро»
(Филиал ПАО «РусГидро» - «Каскад Кубанских ГЭС»)

Договор №12-НИР-2022-ККГЭС
от 30.03.2022 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

«Оценка прочности и устойчивости плотины с учетом уточненных данных о сейсмичности района плотины Егорлыкского водохранилища»

Директор филиала О. Д. Рубин

Начальник ОГИиИ Е.А. Горохова

2022

Список ответственных исполнителей

Фамилия И.О.	Должность	Разделы, виды работ	Подпись, дата
Горохова Е.А.	Начальник отдела	Общее руководство	
Стром А.Л.	Главный специалист	Анализ данных, составление отчета	
Басова А.Б.	Главный специалист	Анализ данных, составление отчета	
Шаумян А.В.	Главный специалист	Анализ данных, составление отчета	
Стойнова А.М.	Ведущий инженер	Нормоконтроль	
Бестужева А.С.	Доцент, НИУ МГСУ, к.т.н.	Выполнение расчётов прочности и устойчивости методом прямой динамики	

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 6
1 Сейсмичность района расположения плотины Егорлыкского водохранилища 8
1.1 Нормативные оценки сейсмической опасности 8
1.2 Развитие представлений о сейсмичности Кавказа и Предкавказья 9
1.3 Сильные исторические землетрясения 14
1.3.1 Макросейсмические данные о наиболее сильных землетрясениях Центрального Предкавказья и Центральной части Большого Кавказа 17
1.4 Инструментальные сейсмологические данные 33
1.5 Глубинность сейсмического процесса 35
1.6 Построение регионального графика повторяемости землетрясений 37
2 Активные разломы 44
2.1 Молодой разрыв у селения Казьминское 45
3 Модели зон ВОЗ района исследований 51
3.1 Модель зон ВОЗ ОСР-97 51
3.2 Модель зон ВОЗ ОСР-2016 54
3.3 Региональная модель зон ВОЗ на основе карты активных разломов ГИН РАН 57
3.3.1 Линеаменты модели зон ВОЗ 57
3.3.2 Домены модели зон ВОЗ 67
4 Уравнение макросейсмического поля 70
4.1 Уравнение макросейсмического поля на основе точечной модели очага 70
4.2 Уравнение макросейсмического поля на основе протяженной модели очага 70
4.3 Инструментальная шкала сейсмической интенсивности (по Ф.Ф. Аптикаеву) 73
5 Уравнения прогнозирования движения грунта (УПДГ) 76
5.1 УПДГ для землетрясений в Европе и на Ближнем Востоке (Akkar, et al., 2014) 77
5.2 УПДГ горизонтальной составляющей пиковых и спектральных параметров (Chiou, Youngs, 2008) 77
5.3 УПДГ для сейсмоактивных регионов Турции (Akkar, Cagnan, 2010) 78
5.4 УПДГ сильных колебаний грунта с использованием классификации участков на основе преобладающего периода (Zhao et al, 2006) 79
6 Вероятностный анализ сейсмической опасности 80
6.1 Общая схема расчета 80
6.2 Расчет сейсмической опасности в баллах макросейсмической шкалы 82
6.3 Расчет сейсмической опасности в численных характеристиках 84
7 Проведение деагрегационного анализа сейсмической опасности 86

7.1 Моделирование в ПМО ВАСО каталога сейсмических событий на основе региональной модели зон ВОЗ ... 86
7.2 Проведение деагрегационного анализа ... 87
8 Синтезирование обобщенных акселерограмм ... 89
9 Сейсмическое профилирование на преломлённых волнах (МПВ) ... 92
9.1 Аппаратура и методика проведения полевых работ ... 92
9.2 Методика обработки ... 95
9.3 Результаты сейсмического профилирования ... 97
10 Сейсмическое микрорайонирование ... 99
10.1 Цели и задачи сейсмического микрорайонирования ... 99
10.2 Модели физических свойств геологической среды ... 101
10.3 Сейсмическое микрорайонирование расчетно-эмпирическим методом сейсмических жесткостей ... 108
11 Численное моделирование реакции грунта ... 111
11.1 Численное моделирование реакции грунта ... 111
11.1.1 Подготовка сейсмогеологических моделей для численного моделирования реакции грунта ... 111
11.1.2 Пиковые ускорения движения грунта и расчетная интенсивность сотрясений 114
11.1.3 Расчетные спектры реакции грунтов в основании объектов ... 117
11.1.4 Выводы по разделу ... 120
12 Расчетные исследования состояния грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища ... 121
12.1 Общие сведения об объекте исследования ... 121
12.2 Исходные данные для расчетных исследований ... 123
12.3 Теоретические основы расчетной методики ... 128
12.4 Результаты расчетных исследований ... 139
Выводы ... 155
Список литературы ... 158
Приложение 1. Техническое задание ... 161
Приложение 2. Выписка из реестра членов СРО, сертификаты СМК и СЭМ, сертификаты соответствия оборудования ... 164
Приложение 3. Логическое дерево ... 171

Введение

Работы по «Оценке прочности и устойчивости плотины с учетом уточненных данных о сейсмичности района плотины Егорлыкского водохранилища» выполнены Филиалом АО «Институт Гидропроект» - «ЦСГНЭО» в рамках договора № 12-НИР-2022 ККГЭС от 30.03.2022.

Техническое задание на выполнение работ приведено в Приложении 1. Документы, подтверждающие членство исполнителя в СРО с перечнем разрешенных видов Услуг: сертификаты на инженерно-геофизические изыскания приведены в Приложении 2.

Цели работ:

- Выделение зон ВОЗ, землетрясения в которых представляют опасность для плотины.
- Оценка характеристик выделенных зон ВОЗ: максимальной магнитуды, глубины очага, механизма очага.
- Оценка параметров сейсмического режима территории; оценка максимальной магнитуды.
- Оценка сейсмических свойств грунтов на площадке.
- Оценка количественных параметров сейсмического движения грунта на площадке: преобладающего периода колебаний, пикового ускорения грунта, продолжительности колебаний, а также соответствующих характеристик колебаний в скоростях и смещениях.
- Построение спектра реакции с учетом результатов сейсмического микрорайонирования участка расположения плотины, рекомендуемого для расчета сейсмостойкости плотины.
- Построение трехкомпонентных акселерограмм ожидаемых землетрясений для периодов повторяемости, регламентируемых нормативными документами для гидротехнических сооружений при расчетах сейсмостойкости плотины.

В настоящем отчете приведены результаты инженерно-сейсмологических работ, выполненных для уточнения исходной сейсмичности участка плотины Егорлыкского водохранилища вероятностным методом оценки сейсмической опасности (ВАСО) и определения исходных сейсмических воздействий для сооружений гидроузла, результаты инженерно-геофизических работ, выполненных для получения исходных данных (скоростей поперечных волн) для сейсмического микрорайонирования расчетным методом, результаты сейсмического микрорайонирования, а также численное моделирование реакции грунта.

Оценки исходной сейсмичности района расположения гидротехнических сооружений Сенгилеевской группы ГЭС были приведены в ранее выпущенных отчетах Волгоградского филиала ОАО "НИИЭС" (Оценка сейсмичности …, 2014) и ЦСГНЭО " Уточнение исходной сейсмичности …, 2014). Следует, однако, отметить, что эти работы выполнялись по методикам, отличным от методики вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО), применявшейся при разработке карт ОСР и использованной в 2022 г. при уточнении исходной

сейсмичности участка плотины Егорлыкского водохранилища. К тому же, оценки исходной сейсмичности, приведенные в вышеупомянутых отчетах, различаются примерно на 1 балл.

В отчете Волгоградского филиала ОАО "НИИЭС" сделан вывод, что полученные параметры (сейсмических воздействий) позволяют оценить исходную сейсмичность на уровне нормативной. Соответственно, воздействия уровня МРЗ (1% вероятность превышения за 50 лет, что соответствует карте ОСР-97/2015 С) составляют 8 целочисленных баллов, а воздействия уровня ПЗ (10% вероятность превышения за 50 лет, что соответствует карте ОСР-97/2015 А) – 7 целочисленных баллов.

В отчете ЦСГНЭО исходная сейсмичность для воздействий уровня МРЗ для участка Сенгилеевской ГЭС, расположенной в 7.5 км от плотины Егорлыкского водохранилища, была оценена в 7.2 балла. Приращения интенсивности, определенные по результатам СМР, суммировались с этим значением.

Оценка исходной сейсмичности участка плотины Егорлыкского водохранилища, результаты которой приведены в настоящем отчете, выполнена с использованием методики вероятностного анализа сейсмической опасности, что позволило охарактеризовать интенсивность и параметры исходной сейсмичности для нормативных вероятностей превышения за 50 лет и обеспечило методическую согласованность полученных оценок с оценками, полученными при составлении нормативных карт ОСР.

1 Сейсмичность района расположения плотины Егорлыкского водохранилища

1.1 Нормативные оценки сейсмической опасности

Егорлыкское водохранилище является одним из объектов каскада Кубанских ГЭС. Оно было построено в 1952 году у села Сенгилеевское, примерно в 25 км западнее Ставрополя. Полный объем водохранилища достигает 111 миллионов кубометров. Максимальная глубина составляет 26 метров. Плотина относится к гидротехническим объектам II класса. Согласно СП 358.1325800.2017 "Сооружения гидротехнические. Правила проектирования и строительства в сейсмических районах" нормативная сейсмичность участка строительства при проектировании гидротехнических сооружений определяется по действующей системе нормативных карт ОСР, либо по списку населенных пунктов Российской Федерации, расположенных в сейсмических районах, согласно СП 14.13330. При этом используют карту:

- ОСР-С - при расчете на МРЗ водоподпорных сооружений классов I, II и III;
- ОСР-В - при расчете на МРЗ водоподпорных сооружений класса IV и безнапорных ГТС;
- ОСР-А - при расчете на ПЗ ГТС всех классов и видов.

В настоящее время, после выхода в свет Постановления Правительства Российской Федерации от 28 мая 2021 г. № 815 "Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", и о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 4 июля 2020 г. № 985", при проектировании гидротехнических сооружений нормативная сейсмичность должна определяться по картам ОСР-2015 (п. 8.2.4 СП 14.13330.2018).

Согласно карте ОСР-2015, которая для рассматриваемого района аналогична карте ОСР-97, нормативная сейсмичность участка плотны Егорлыкского водохранилища составляет 7 баллов по картам А и В и 8 баллов по карте С (Рисунок 1.1).

Следует отметить, что в 2009-2016 годах под руководством главного редактора карты ОСР-97 В.И. Уломова был разработан новый комплект карт ОСР-2016, базирующийся на уточненных моделях зон ВОЗ и сейсмического эффекта. При построении карт использовалась также более густая сетка расчетных точек (Пояснительная записка, 2016). Комплект карт был одобрен Советом по сейсмологии РАН и принят в качестве нормативного с Изменением 1 к СП 14.13330.2018, но затем был отменен вместе с этим изменением. Согласно картам ОСР-2016, сейсмичность рассматриваемого участка также составляет 7 баллов по картам А и В и 8

баллов по карте С (Рисунок 1.2). Несколько изменилось только положение границ зон разной балльности.



Рисунок 1.1 Фрагменты комплекта карт общего сейсмического районирования ОСР-97/2015

При проведении вероятностного анализа сейсмической опасности участка плотины Егорлыкского водохранилища анализировались модели зон ВОЗ и сейсмического эффекта, разработанные при составлении карт ОСР-97 и ОСР-2016, которые рассматривались как альтернативные, наряду с региональной моделью зон ВОЗ, разработанной на основе анализа базы данных активных разломов, составленной в ГИН РАН (Бачманов и др., 2017) и актуальной сейсмологической информации.



Рисунок 1.2 Фрагменты комплекта карт общего сейсмического районирования ОСР-2016

1.2 Развитие представлений о сейсмичности Кавказа и Предкавказья

В период проектирования и строительства плотины Егорлыкского водохранилища и в начальный период ее эксплуатации представления о сейсмической опасности западной части Предкавказья существенно отличались от современных. На картах сейсмического

районирования, действовавших до конца 80-х – начала 90-х годов прошлого века, сейсмическая опасность этого района оценивалась в 6 баллов, а максимальная сейсмическая опасность на всем Кавказе, в Закавказье и Предкавказье – в 8 баллов (см., например, Рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 Фрагмент карты сейсмического районирования территории СССР, приложенной к СНиП II-А.12-69*. Положение Егорлыкского водохранилища обозначено звездочкой

На представления о сейсмичности региона существенно повлияли катастрофические землетрясения, произошедшие на Кавказе в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого века – сперва Спитакское 1988 г. с M_s=6.9-7.0, а позднее Рачинское 1991 г. с M_s=6.9-7.2 и Барисахское 1992 г. с M_s=6.6, интенсивность которых достигала, а по некоторым оценкам, даже превосходила 9 баллов. Были пересмотрены в сторону увеличения оценки M_{max} ряда сейсмогенерирующих структур Большого Кавказа (вплоть до M=7.5) и вследствие этого на карте ОСР-97, заменившей карту СР-78, сейсмичность всего Северного Кавказа и Предкавказья была существенно повышена. Для участка Егорлыкского водохранилища она увеличилась до 8 баллов на картах ОСР-97-С (см. Рисунок 1.1).

Отчасти, столь значительное повышение уровня сейсмической опасности было связано с тем, что при составлении карты ОСР-97, на этапе первоначальной регионализации (Уломов, Шумилина, 1999; Пояснительная, 2016), к Кавказскому региону были отнесены смежные территории на севере Турции и Ирана с существенно иным, чем на Северном

Кавказе, пространственным распределением сейсмичности и с наличием многочисленных высокомагнитудных исторических землетрясений (Рисунок 1.4).

В дальнейшем, в ходе анализа сейсмологических данных, проведенного при подготовке модели сейсмогенерирующих зон Кавказа для карты ОСР-2016, было показано, что это приводит к неоправданному завышению оценок повторяемости землетрясений практически во всем рассматриваемом диапазоне магнитуд (Рисунок 1.5). Эти различия ярко проявились и для землетрясений с магнитудами $M \geq 7.0$ на графике повторяемости, нормированном на 1000 км^2. Изменение границ большого региона дало более реалистичные расчетные оценки повторяемости землетрясений, что и привело к некоторому понижению сейсмической опасности для горной части Северного Кавказа в пределах территории Российской Федерации на картах ОСР-2016 по сравнению с картами ОСР-97 и ОСР-2015 (последняя для этого региона идентична карте ОСР-97) (Рисунок 1.6). Отметим, впрочем, что на оценку сейсмической опасности участка, рассматриваемого в данном отчете, это практически не повлияло. При разработке карт ОСР-2016 были также несколько изменены положение и оценки максимально возможных магнитуд зон ВОЗ, как линейных – сейсмолинеаментов с $M_{max} \geq 6.0 \pm 0.2$, так и площадных – сейсмодоменов с $M_{max} \leq 5.5 \pm 0.2$. Это привело к тому, что зона повышенной балльности, протягивающаяся от района Минеральных вод в сторону Ставрополя, на картах ОСР-2016 стала несколько уже, но протягивается несколько дальше в северо-западном направлении. При уточнении исходной сейсмичности участка плотны Егорлыкского водохранилища методами ВАСО, больший вес в логическом дереве придавался ветвям, использующим модель сейсмогенерирующих зон, разработанную при составлении карты ОСР-2016, как более объективной и обоснованной.

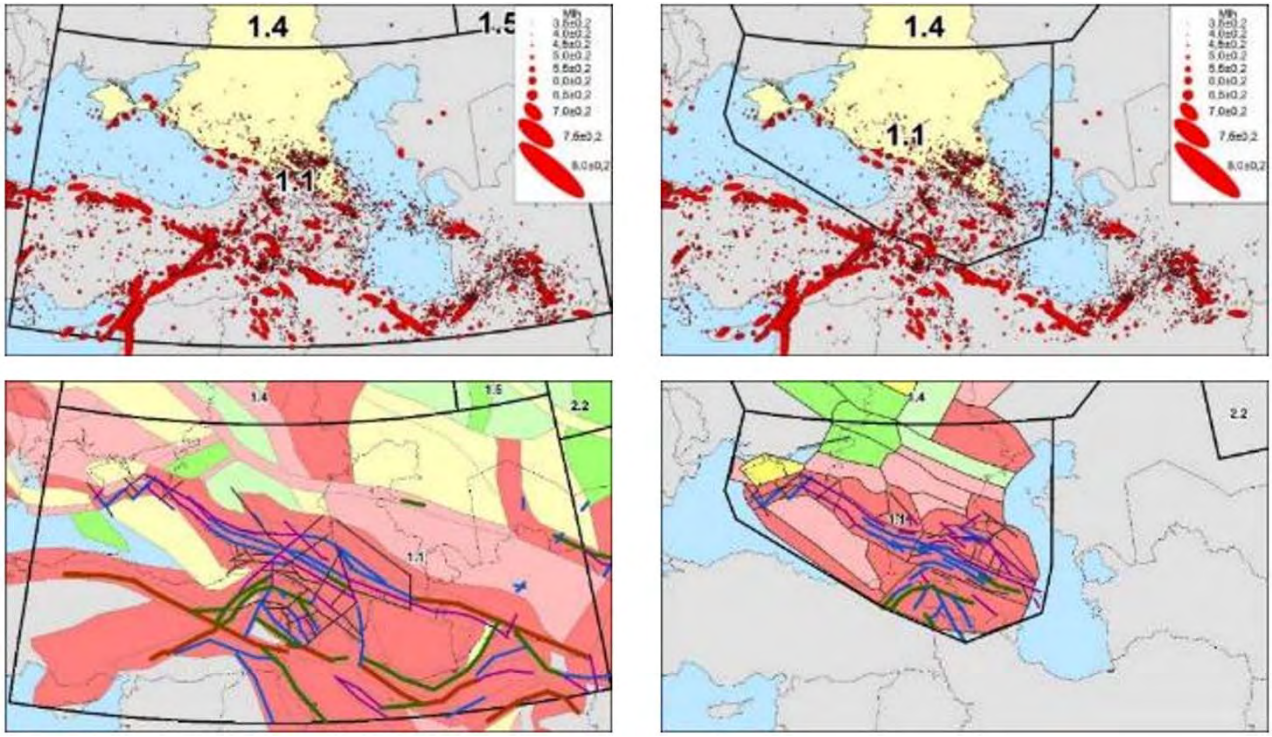


Рисунок 1.4 Сейсмичность Кавказского региона и прилегающих территорий и положение сейсмогеодинамического Крымского Кавказского региона 1.1 в моделях зон ВОЗ к карте ОСР-97 (слева) и ОСР-2016 (справа)

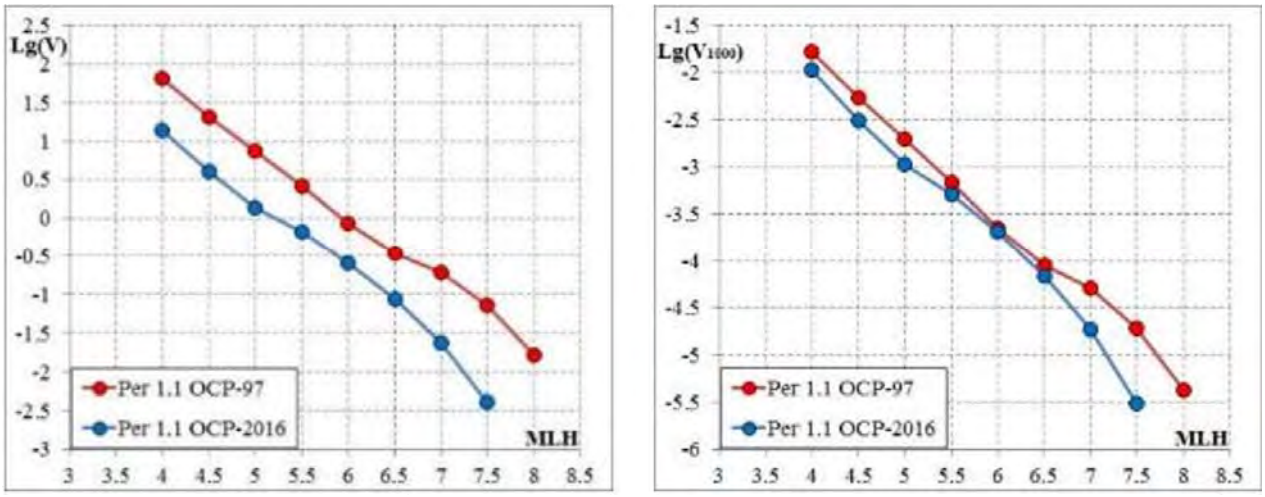


Рисунок 1.5 Графики повторяемости землетрясений разных магнитуд для Крымско-Кавказского региона 1.1 для моделей сейсмогенерирующих зон к картам ОСР-97 и ОСР-2016. Слева – общий, справа – нормированный на 1000 км^2

Преимущество вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) перед детерминистским анализом (ДАСО), обусловившее широкое применение вероятностного подхода, состоит в том, что он позволяет количественно оценить риск возникновения и возможного превышения сейсмических воздействий прогнозируемой интенсивности. Детерминистский анализ позволяет оценивать параметры наиболее сильных сейсмических воздействий (условно относимых к МРЗ), но не позволяет обоснованно определять параметры воздействий, в том числе интенсивность, для заданных периодов повторяемости.

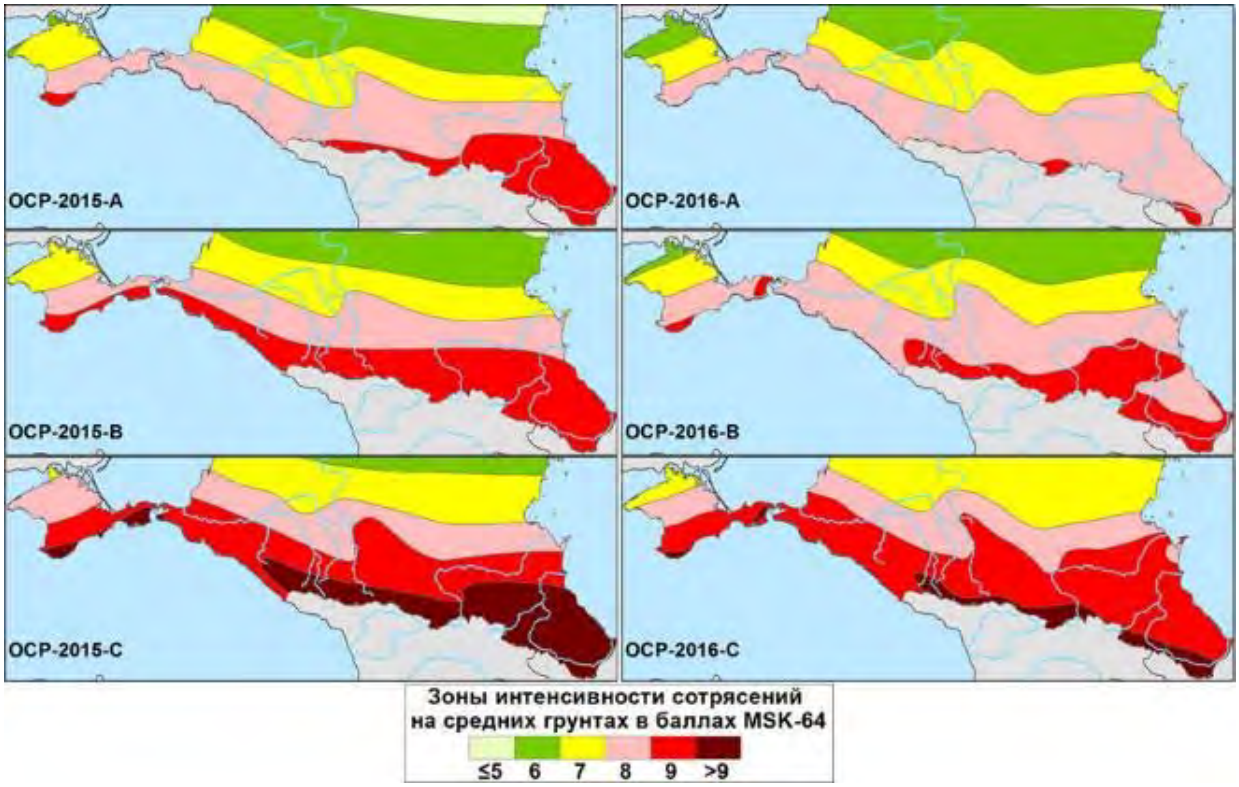


Рисунок 1.6 Сопоставление карт ОСР-97/2015-A,B,C и ОСР-2016-A,B,C Кавказского региона

Основной "единицей" при проведении общего сейсмического районирования (ОСР) является регион (в данном случае Кавказский), включающей квазиоднородные в сейсмогеодинамическом отношении зоны ВОЗ, для которых предполагается единообразный сейсмический режим, используемый для параметризации основных структур линеаментно-доменной модели. Очевидно, однако, что такое единообразие сейсмического режима в пределах обширной и, в целом, сложно построенной территории, является определенным допущением. Оно приемлемо при обзорных, мелкомасштабных исследованиях, выполняемых при ОСР, но может не отражать более локальные особенности, определяющие сейсмическую опасность на конкретной площадке, расположенной в той или иной части региона.

Поэтому при проведении более детальных исследований, выполняемых при ДСР / УИС, целесообразно учитывать особенности сейсмического режима непосредственно в окрестностях исследуемой площадки. В данном случае в качестве исследуемой территории принята область радиусом 200 километров, окружающая плотину Егорлыкского водохранилища. Согласно зависимости "интенсивность-расстояние-магнитуда" для Северной Евразии, землетрясения с эпицентрами на этой территории полностью определяют сейсмическую опасность на площадке выше 5 баллов по шкале MSK-64. Территория радиусом 200 км от площадки полностью попадает в Кавказский регион.

Для уточнения исходной сейсмичности участка был проведен анализ сведений о землетрясениях, инструментально зарегистрированных и известных по историческим данным

в районе радиусом ~200 км, а также предполагаемых здесь на основании результатов палеосейсмологических исследований. Были рассмотрены и учтены разные модели сейсмогенерируюших зон центральной части Большого Кавказа, базирующиеся на различных представлениях о сейсмотектонике этого района.

1.3 Сильные исторические землетрясения

Исторические и инструментальные сведения о сильных землетрясениях в пределах 200-километровой зоны плотины Егорлыкского водохранилища весьма ограничены. Как видно на Рисунок 1.7, наиболее крупные землетрясения с магнитудами $M_{LH} \geq 6.3$ зарегистрированы только на самом юге, практически на границе 200-километровой зоны. Магнитуда же землетрясений, произошедших в радиусе ~50 км от плотины, не превышала 5.0. Практически, плотина Егорлыкского водохранилища находится на северной границе области, где известны землетрясения с магнитудами ≥ 3.0.

Для исторических событий одним из основополагающих источников является "Каталог землетрясений Российской Империи" (Мушкетов, Орлов, 1893). В нем подобраны многочисленные сведения о землетрясениях и других природных явлениях, следствием которых является сотрясение земной поверхности. В этот каталог включены сведения из летописных, газетных материалов, писем очевидцев, и из имеющихся на тот период каталогов землетрясений.

К сожалению, многие источники нам не доступны, либо их детальный анализ невозможен по той причине, что они написаны на армянском или арабском языках. Некоторые источники являются фондовыми материалами зарубежных научных организаций.

При составлении каталога параметры землетрясений сравнивались с данными каталога, созданного в рамках программы "Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии", использовавшегося при составлении карт ОСР-97 – "Special Earthquake Catalogue of Northern Eurasia From Ancient Times Through 1995" (SECNE), под ред. Н.В. Кондорской и В.И. Уломова, но предпочтение отдавалось данным первоисточников, в связи с тем, что в каталоге SECNE нет ссылок на источники и нет записи, поясняющей, по какому принципу приняты параметры землетрясений, включенных в каталог.

На основе анализа макросейсмических данных в каталог были внесены уточнения, касающиеся, некоторых исторических землетрясений Кавказа, которые представлены в Таблица 1.1. Отметим, что перечисленные в этой таблице землетрясения произошли за пределами рассматриваемой 200-километровой зоны.

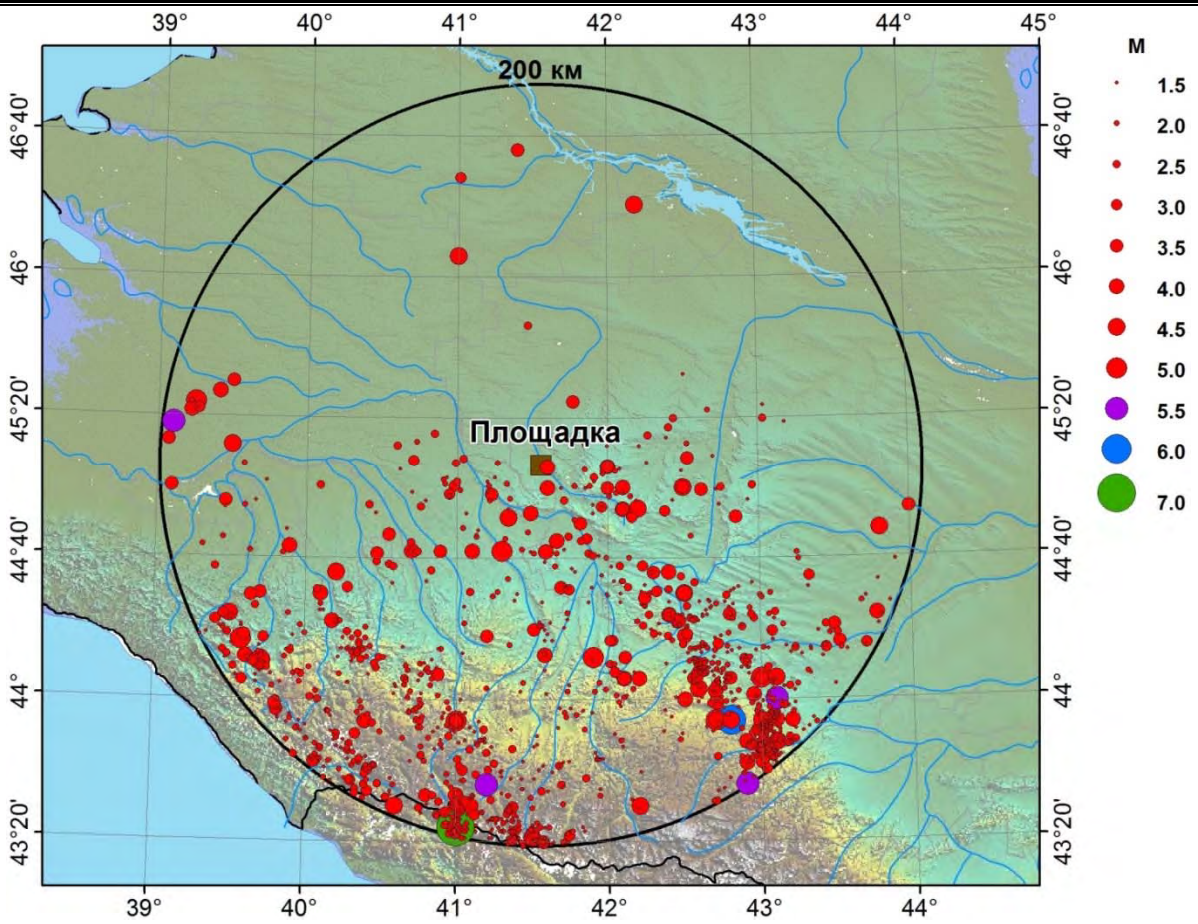


Рисунок 1.7 Карта эпицентров землетрясений в пределах 200-километровой зоны Егорлыкского водохранилища (желтая пунктирная линия). Положение плотины обозначено красным крестом на белом фоне. Показаны эпицентры землетрясений разных магнитуд

Таблица 1.1 Таблица ошибочных и неоднозначных землетрясений, включенных в опубликованные каталоги

Дата	Суть ошибки в данных	Наиболее вероятное решение	Источник ошибочных данных	Источник наиболее достоверных данных сведений
63 г. до н. э.	Эпицентр перенесен в асейсмичный район южного побережья Азовского моря, напротив м. Казантип. Неправильное положение разлома, к которому приурочен эпицентр	Первично принятое положение эпицентра в южной части Керченского пролива	Shebalin et al, 1997	НК
275 г.	Землетрясение определено на основе археологических данных о близких по времени разрушениях древнегреческих крепостей в Крыму Эпицентр относят к югу Керченского пролива на основании предположений И.В. Ананьина. Нет источников, излагающих	В работе (Ананьин, 1977) это землетрясение не выделяется. Вызывает сомнение, что это землетрясение вообще имело место, либо его дата.	НК, Shebalin et al, 1997	Не найден

Дата	Суть ошибки в данных	Наиболее вероятное решение	Источник ошибочных данных	Источник наиболее достоверных данных сведений
	подробные описания землетрясения.			
1007 г.	По имеющимся неясным сведениям о землетрясении его эпицентр помещен в район Армянского нагорья	Землетрясение могло произойти в Ираке, в районе г. Багдад. Следует, однако отметить, что в фундаментальном каталоге (Ambraseys, 2009) это землетрясение отсутствует.	НК	Alsinawi S., Ghalib H.A.A., 1975; NEIC
17 декабря 1667 1667 ±1 год 4 января 1668 г. 4 января 1669 г.	Запутанные сведения в источниках привели к ошибкам в датировке землетрясений и в положении эпицентра (Мишлешское)	Все макросейсмические сведения на указанные даты относятся к одному сильнейшему на Кавказе землетрясению 14 января 1668 г.	НК; Ананьин, 1977	Никонов, 1982, 1985; Shebalin et al, 1997
1668	Терское. В НК приведена дата 1688 год (возможно, опечатка). По координатам НК эпицентр находится на удалении более 200 км от г. Терки. Нет подтверждающих данных ни по дате, ни по макросейсмике в ближайших к г.Терки районов.	Описания по н.п. Терки и Астрахань относятся к проявлениям Шемахинского землетрясения 14 января 1668 года	НК; Shebalin et al, 1997	Никонов, 1982
1751	Эпицентр землетрясения перенесен в асейсмичный район южного побережья Азовского моря, напротив м. Казантип. Неправильное положение разлома, к которому приурочен эпицентр	Первично принятое положение эпицентра на южном побережье Крыма (Кучук-Кой)	Shebalin et al, 1997	НК
2 марта 1875	В данном случае ошибка заключается в дате землетрясения.	Правильной датой считаем 1-2 мая 1875 года.	НК, Ананьин, 1977	Никонов, 1995
2 июля 1893 г.	Ошибка в дате. В источнике, на который ссылаются авторы НК, в т.ч. И.В. Ананьин, а именно (Мушкетов, 1899), четко сказано, что землетрясение произошло 8 июля по ст. ст.	Правильная дата землетрясения: 20 июля 1893 г.	НК, Ананьин, 1977	ЦСГНЭО

В основном это - крупнейшие землетрясения, ощущавшиеся в населенных пунктах, расположенных за сотни километров от их эпицентров, и датированные с точностью до года.

Подобные свидетельства сотрясений рассматривались, как самостоятельные землетрясения, что послужило причиной локализации ложных эпицентров землетрясений вблизи этих пунктов. К этой же категории относятся события, ошибочно отнесенные к рассматриваемой территории на основе неясных или неоднозначных первичных описаний. Краткий анализ ошибочных и неоднозначных событий приведен в разделе макросейсмических данных.

1.3.1 Макросейсмические данные о наиболее сильных землетрясениях Центрального Предкавказья и Центральной части Большого Кавказа

Землетрясение 29 июня 1921 г.
Кисловодское
НК (Кавказ)

Дата	Час	Мин	Сек	С.Ш.	В.Д.	Глубина, км	M	Io, баллы	Примечания	Источники
1921 июнь 29	11	37	55 ±10 с	43.9 ±0.2	42.8 ±0.2	22 15-33	5.6 ±0.3	7 ±0.5	Кисловодское; 6 – 50(3) hI=22; hIM=23; по ISS 43.0°; 44.0°	А, Ан, Б, ISS, КЗ, КК, К, Н, 11, 59, 123, 177, 198, 257

Здесь: А – Атлас…, 1962; Ан – Ананьин, 1963, 1977; Б – Сейсмологический бюллетень; ISS – The International Seismological Summary; КЗ – Спесивцева и др., 1941; КК – Карточный каталог …; Н – Никитин, 1974; 11 – Ананьин, 1968; 59 - Газетные сообщения; 123 – Книги для записи наблюдений…; 177 – Никитин, Куташева, 1955; 198 – Райко, 1926; 257 – Шебалин, 1974. Расшифровки для сокращения "К" в НК нет. Вероятно, это опечатка.

NORDASIA

Year	Mouth	Day	hour	min	sec	lat	long	h	M	Mo	Mw	Io
1921	6	29	11	37	55	43.9	42.8	22	5.6	4.9	5.9	7

Атлас, 1962.

Год	Месяц	Число	Момент возникновения ч м с	Координаты эпицентра φ°N	Координаты эпицентра λ°E	Глубина очага, км	Группа интенсивности	M	Дальность регистрации и название станции	Примечания и библиография
1921	VI	29	11 38 00	43.6	42.9		IV		1570 Лв	Кисловодск 6-7 б. [30, 64, 68, 95]

Здесь: 30 – Спесивцева и др., 1941; 64 – Никитин, Куташева, 1955;68 - Райко, 1926; 95 – Ярославцев, 1928[1],

Лв – сейсмостанция "Львов"

Никонов, 1994, стр. 10-19: "Наиболее значительным из известных в текущем столетии в районе Кавминводского выступа (КМВ), несомненно, было землетрясение 29 июня 1921 г. Специальному изучению оно не подвергалось, сведения о нем скудны и в основном касаются

[1] В данной работе никакой информации о землетрясении 29.06.1921 г. не найдено.

изменений в минеральных источниках [14 - 18]. Это побудило заняться тщательным сбором описаний по газетам того времени, что и было проделано. Кроме того, мы смогли воспользоваться неизвестными ранее воспоминаниями очевидцев. Все эти материалы вкратце представлены в Таблица 1.2. Из собранных сведений выясняется, что интенсивность сотрясений в КМВ была больше, чем указывалось ранее (в Пятигорске до 8 баллов), а область распространения значительных сотрясений простиралась на северо-запад и юго-запад не менее, чем на 100 км (Рисунок 1.8)[2]. Очевидцы сравнивали это землетрясение с отдельными моментами Шемахинского (1902 г.). По шуму и направлению толчков эпицентр мог располагаться западнее Пятигорска. Фактического подтверждения указаниям о том, что в Кисловодске сотрясения были сильнее, чем в Пятигорске, мы не обнаружили.

Важными представляются сведения о возникновении трещин в разных частях г. Машук, преимущественно в южной нижней части горы, по-видимому, на участке уже раздробленного прежде рельефа.

Достойны специального внимания следующие воспоминания П.Н. Никитина (в письме автору от 10.01.1989 г.): "Лет 30 тому назад я возил Е.Ф. Саваренскому сейсмограмму и обнаруженные записи в архиве сейсмостанции Пятигорск (записи Райко). Е.Ф. тогда пришел к выводу, что это землетрясение было в восемь баллов. Много позже он эту силу указал на карте, которая была им опубликована в Чехословацком сейсмологическом сборнике. Но на карте Госстроя осталась цифра семь. Е.Ф. рассказывал мне, что в Госстрое они (он, Медведев, Горшков и др. сейсмологи) остались в меньшинстве, а большинством голосов оставили семь".

Отметим, однако, что в работе [9] П.Н. Никитин принял семибалльную оценку интенсивности этого события.

Таким образом, оказывается, что наши определения интенсивности землетрясения в 7 - 8 баллов по существу не являются ни новыми, ни завышенными. На основании собранных заново макросейсмических сведений переопределены параметры землетрясения, которые оказались несколько выше принятых (Таблица 1.2). В бюллетене [21], прежде не использованном, приводится время первого вступления на станции в Тифлисе 11 ч 36 м 41 с., т.е. в очаге должно быть на две минуты раньше, чем указано в [14]. Важно отметить, что независимо (и позднее) наших оценок магнитуды $M = 6.0 \pm 0.3$ по макросейсмическим данным Г. Ковалле (письменное сообщение от 28.02.1993 г.) по записям станции Потсдам определил $M = 6.3 \pm 0.3$, т.е. существенно выше, чем приведено в [14][3], и близко к нашему определению".

---

[2] Судя по приведенному рисунку, размеры области, где интенсивность сотрясений превышала 5 баллов, меньше, чем 100 км.

[3] НК

Таблица 1.2 Макросейсмические данные о землетрясении 29 июня 1921 г.

№ п/п	Пункт наблюдения	Характеристики землетрясения	Интенсивность, баллы MSK-64	Источник сведений
1.	Пятигорск	Рухнули многие дымовые трубы в домах, кое-где рухнули каменные заборы. Единственное в городе 4-этажное здание частью разрушено, каменно-кирпичное здание дало трещину, сброшены украшения с его крыши, одноэтажные кирпичные здания дали трещины Трамвай с людьми сброшен с рельсов Надгробия на кладбище частью повалились, частью наклонились. На сейсмостанции тяжелый маятник Голицына сброшен с регистра. Качались здания, люди выбегали из домов, паника, плакали дети. Волна шла со стороны Ессентуков, т.е. с Запада. Разваливались трубы, обваливались карнизы, обваливалась штукатурка со стен и потолков, некоторые здания дали трещины.	8 7	Никитин П.Н. Письмо автору от 10.01.89 Красное Пятигорье, 1921, №138
2.	На горе Машук	В разных местах горы преимущественно в южной части возникли трещины, из которых изливалась минеральная вода.		Красное Пятигорье, 1921, №140
3.	В лесу за Машуком	Лес раскачивался и стонал от толчков. Сильно качалась гора Машук, люди на горе в лесу застыли от ужаса.	(7)	Красное Пятигорье, 1921, №138
4.	Ессентуки	В некоторых домах санатория образовались трещины, в комнате исполкома обвалился потолок. Во многих зданиях широкие трещины, выбиты оконные стекла, обрушились карнизы, паника среди больных.	7	Красное Пятигорье, 1921, №138 Красное Пятигорье, 1921, №139
5.	Минеральные воды	Во многих домах образовались трещины, обрушились карнизы, развалились трубы. Паника среди населения.	7	Красное Пятигорье, 1921, №140
6.	Кисловодск	Валились кирпичные трубы, статуи валились с постаментов, на улице валялась штукатурка. На 4-м этаже деревянного дома (в башне) вещи вываливались из сервантов и шкафов (но не разбились), обвалилась штукатурка, люди в панике выбегали из домов. Довольно сильное землетрясение, сопровождавшееся гулом. 3 толчка, первый наиболее сильный. Падала посуда, сильно колебались висячие предметы, мебель двигалась по комнате. Оконные и дверные переплеты во многих домах оказались поврежденными, обваливалась штукатурка, образовались трещины в домах, качались деревья	7 7	Воспоминания очевидца Ю.К. Ефремова (1989 г.) Райко, 1926
7.	Имение Мусина-Пушкина "Виноградные сады" под Кисловодском	В стене образовался вывал, через который пролезали	7	Воспоминания Ю.К. Ефремова
8.	Вершина г. Эльбрус, северный склон	Появилась темная полоса, обнажило склон (лавиной, ледопадом). Почернение одной из глав Эльбруса.	(>5-6)	Красное Пятигорье, 1921, № 138; Воспоминания Ю.К. Ефремова
9.	Ст. Невинномысская	В некоторых зданиях возникли небольшие трещины, осыпалась штукатурка с домов. Висячие предметы качались, легкая мебель двигалась.	6	Красное Знамя, 1921, №366

Примечание: баллы: 1 - 7 - 8; 2 - 7; 3 - 6; 4 - 5 - 6; 5 - не отмечено. В скобках — ненадежные данные

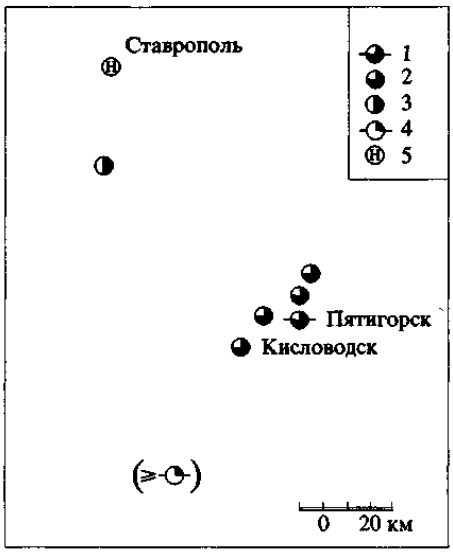


Рисунок 1.8 Макросейсмический эффект наиболее значительного из зарегистрированных землетрясений района КМВ.

№ п. п.	Дата	Время по Гринвичу	Координаты эпицентра φ°,N; λ°,E	h, км	M	I0 (MSK-64)	Источники
1	2	3	4	5	6	7	8
10.	1921 июнь 29	11 37 55 ±10 с	43.8; 42.8 ±0.2	25 20 - 35	6.0 ±0.3*	7.5 ±0.5	0
	1921 июнь 29	11 37 55 ±10 с	43.9; 42.8 ±0.2	22 15-33	5.6 ± 0.3	7 ±0.5	[14]

Примечания: 0 - определения автора.

*) - по определениям Г. Ковалле на основе записей станции Потсдам M = 6.3 ± 0.3.

В СККЦ-07 принята оценка M=6.0 и уточнены координаты эпицентра, которые определены нами как центр 7-балльной области сотрясений: 44.0N; 42.95ЕЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2 ОКТЯБРЯ 1971 Г.

СТАВРОПОЛЬСКОЕ

Зарайский М.П., Добрыченко А.В., Казин Э.А., Новицкая Н.А. Ставропольское землетрясение 2.X. В сб. Землетрясения в СССР в 1971 году. М., "Наука", 1975

Землетрясение произошло в районе Ставропольской возвышенности 2.X в 10 ч. 56 м. 40 с. По данным ЕССН, M=4.0 (по семи станциям), координаты 45°,3 с.ш., 42°,5 в.д., очаг – поверхностный. Землетрясение зарегистрировано 22-мя сейсмическими станциями, предельная данность регистрации 2860 км. По инструментальным данным северокавказской сети, координаты эпицентра 44°,8 с.ш., 42°,4 в.д., M=4.5±0.1, очаг – поверхностный. …

Наиболее сильно землетрясение ощущалось в точке №13. Новый дом из тесаного камня разрушен: разошлись стены, между ними образовались сквозные трещины до 3-5 см, один угол вывалился наружу, провисли потолки. В деревянных домах образовались сквозные трещины.

Жители, находившиеся в домах во время землетрясения, рассказывают, что после толчка все оказались на полу, "земля уходила из-под ног", поднялись облака пыли от обвалившейся штукатурки. Землетрясение сопровождалось "страшным гулом", вершина и склоны холма, расположенного в 200 м от домов, покрылись трещинами шириной до 10-12 см. Во время землетрясения на вершине этого холма находился старший чабан А.С. Бераев. По его словам, буквально рядом с ним "разошлась земля" – появилась трещина шириной до 40 см, которая затем сошлась, сейчас ширина её 12 см. 8 баллов.

Точка №9 – в одноэтажном новом доме из штучного камня на цементе образовались сквозные трещины до 10 см, вывалы участков штукатурки до 0.5-1.0 м2, потолки провисли, обнажена кладка. Во время землетрясения жители слышали сильный рев с юго-запада, стоявших сильно раскачивало. Сильно раскачивались стволы деревьев. 7 баллов.

Точка №10 – одноэтажное турлучное здание практически разрушено: обвалилась кирпичная облицовка, внутри здания почти полностью обвалилась штукатурка. 7 баллов.

Пос. Цимлянский – в новых двухэтажных кирпичных домах образовались в стенах сквозные трещины до 2-3 см, разрушены почти все дымовые трубы. Все местные жители слышали как бы взрыв из-под земли, все выскочили из домов, с криками летала домашняя птица, выли собаки. В квартирах двигалась мебель, падали висевшие на стенах картины, фотографии. 7 баллов.

Пос. Холодногорский – в новых одноэтажных домах из штучного камня на цементе по углам появились сквозные трещины до 10 см, большие обвалы штукатурки. 7 баллов.

Пос. Калюжный – на всех домах (саманные и деревянные) разрушены дымовые трубы. В саманных домах образовались сквозные трещины от 3 до 10 см, провисли потолки, в некоторых – разрушены печи. В деревянных домах наблюдались вывалы штукатурки, трещины в кирпичных фундаментах. 7-8 баллов.

Землетрясение 2. октября ощущалось с меньшей силой во многих пунктах Ставропольского края на площади 8.5 тыс. км^2. По макросейсмическим данным построена схема изосейст. На схеме заметно искажение нормального сейсмического поля: дальние изосейсты эллипсовидны, в районе эпицентра имеется локальная восьмибалльная зона. Эллипсовидная вытянутость дальних изосейст может быть объяснена различным поглощением в зависимости от простирания тектонических структур (при обработке макросейсмических материалов использовались средние радиусы и площади соответствующих изосейст).

Наличие локальной восьмибалльной зоны связано, вероятно, с протяженным наклонным "неточечным" очагом…

Проекция на земную поверхность центра сейсмической энергии очага находится примерно в центре изосейсты 7.0. Таким образом, очаг Ставропольского землетрясения оказался наклонным, ориентировка плоскости разрыва по простиранию 5°ВЮВ (оценена по направлению вытянутости первых изосейст).

Отметим, что длинная ось эллипсовидных изосейст ориентирована в ЗСЗ-ВЮВ направлении (Рисунок 1.9), что отличается от СЗ-ЮВ простирания линеаментов, включенных в модели зон ВОЗ к картам ОСР-97/2015 и ОСР-2016. Интенсивность этого землетрясения в различных пунктах приведена в Таблице 1.3.

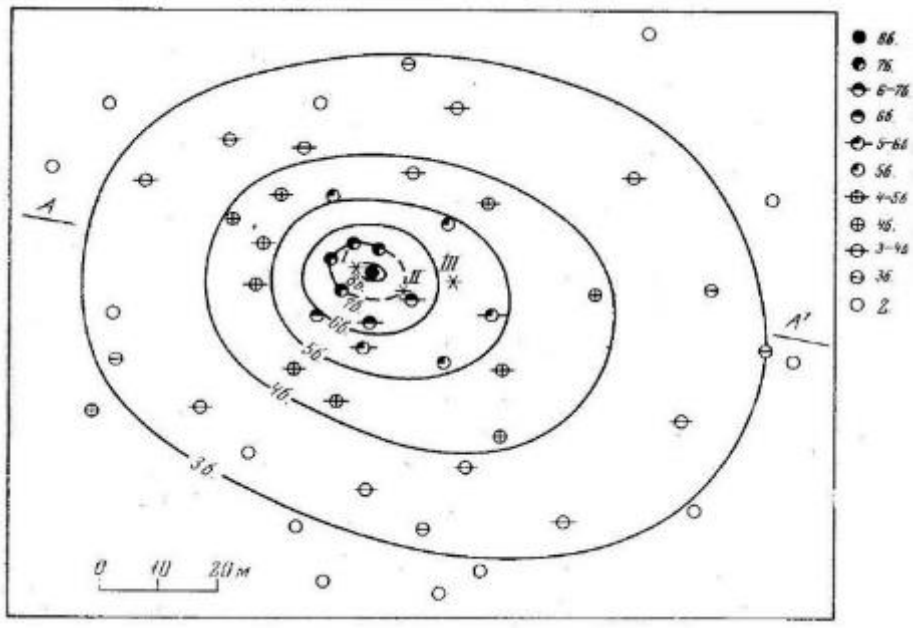


Рисунок 1.9 Схема изосейст Ставропольского землетрясения.

Положение эпицентра: I – по макросейсмическим данным, II – по инструментальным данным северокавказской сети, годограф h=0 км, III – то же, годограф h=25 км; 1 – балльность, 2 - ощущалось

Таблица 1.3 Макросейсмические данные о землетрясении 2 октября 1971 г.

Пункт	I, балл	Δ, км	Пункт	I, балл	Δ, км	Пункт	I, балл	Δ, км
Темнолесская	6	10	Базовый	4-4,5	25	Крым-Гиреевское	3,5	37
Северный	6,5	11	Чечерский	4	42	Степной (2)	4	51
Надежда	5	13	Новый Янкуль	4,5-5	30	Киан	3,5-3	37
Весёлый	5,5	14	Янкуль	4	38	Кианказ	3,5-4	39
Сладкий	5,5	25	Новомарьевка	3,5	31	Стародворецкий	3,5-4	23
Бешпагир	5	18	Шпаковское	3,5-4	23	Кочубеевское	3,5	36
Степной	5	22	Старомарьевка	3-3,5	18	Сингелеевское	3,5	39
Польский	4,5-5	22	Грачёвка	3,5	32	Заветное	3	43
Грушевый	4	24	Просянский	3-3,5	51	Падинское	3	72
Новокатериновская	4-4,5	20	Грушевское	3	62	Водораздел	3	45
Татарка	4,5	18	Александровское	3,5	62	Казинка	3	38

Ставрополь	4,5	18						

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 19 ОКТЯБРЯ 1999 г.

ВЕРХНЕ-ЯНКУЛЬСКОЕ

В.З. Фабрициус, З.Е. Фабрициус, П.В. Шавкань, И.П. Габсатарова, Р.С. Михайлова. Верхне-Янкульское землетрясение 19 октября 1999 года с MS=4.4, I0=6-7 (Северный Кавказ)/ В сб. Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. Обнинск: ФОП, 2005, с.311-322

В центральной части Ставропольской возвышенности на территории Северного Кавказа 19 октября (1999 г.) в 18h 18m произошло ощутимое землетрясение с интенсивностью в эпицентре I0=6-7 баллов. Ближайшим к эпицентру населённым пунктом было село Верхний Янкуль, давшее название землетрясению. Несмотря на небольшую магнитуду, землетрясение зарегистрировано более чем 50-ю сейсмическими станциями на различных расстояниях, в том числе 13-ю станциями, расположенными на территории Северного Кавказа. Сеть региональных станций, участвующих в определении параметров основного толчка, имели ближайшую станцию в пределах 30 км от эпицентра и обеспечили хорошее окружение эпицентра станциями (азимутальная брешь - 119°).

Основные параметры Верхне-Янкульского землетрясения 19 октября 1999 г. по данным агентства «Северный Кавказ».

Агентство	t0, ч. м. с.	Гипоцентр			Магнитуда
		φ°, N	λ°, E	h, км	
Северный Кавказ	18 18 45.3	44.70	42.68	13	KP=11.9
Результаты	18 18	44.727	42.647	7	KP=12.1,

По результатам макросейсмических исследований максимальная интенсивность сотрясений I=6-7 баллов отмечена в селе Верхний Янкуль. Ощущали все жители. Спящие проснулись. Возникла паника, люди выбежали на улицу. Перед землетрясением и во время него был слышен сильный гул. Землетрясение началось резким толчком снизу, через 2-3 с. последовали сильные горизонтальные колебания в направлении с запада на восток. Теряли равновесие не только стоящие люди, но и сидящие. В результате землетрясения на всех домах произошло полное обрушение труб. Слетала черепица с крыш, рамы выпадали из стен. В некоторых саманных домах образовались сквозные трещины в стенах, раскалывалась штукатурка и частично обваливалась, в других домах образовались трещины между печами и стенами, падали с полок посуда и банки с заготовками на зиму. Двигались предметы по столам, шкафам. В двухэтажном блочном доме (на втором этаже) сдвинулись плитовые перекрытия потолка и образовалась щель в 10 см. До землетрясения беспокоились собаки, во время толчков стоял лай и вой.

Сотрясения с I=6 баллов имели место в селе Новый Янкуль (10 км). Ощущало всё население. Возникла паника. От толчка отключился свет. Все отметили гул. Около 18h раздался сильный хлопок, а потом слабые колебания (форшок в 17h 56m), после чего наступила тишина, резко успокоился сильный ветер, в 18h 18m раздался сильный гул и резкий основной толчок, через несколько секунд, в 18h 25m, - второй, более слабый (афтершок). Колебания – в направлении восток-запад. Во многих домах произошло растрескивание штукатурки и её частичный обвал. Очень сильно качались люстры, звенела посуда, дребезжали стёкла, двигались мелкие предметы, беспокоились собаки (по ул. Октябрьской). В здании школы (блочное, двухэтажное, толщина стен около 60 см), построенном в 1974 г., образовались внутренние межшовные трещины в стенах, и произошел обвал штукатурки из межплитных соединений. Сильнее пострадал первый этаж. На участке №20 (5 км западнее села) треснул пополам и покосился саманный дом. На МТФ (2 км северо-западнее села) треснули плитовые перекрытия. По дороге к с. Верхний Янкуль на южном склоне образовалось много новых и частично обновилось большинство старых оползней.

20 октября большинство людей ощущали два толчка с интервалом ~30 с, сопровождавшиеся гулом, причем первый был сильнее. Судя по имеющимся инструментальным данным, это может соответствовать двум афтершокам: в 19h 59m и в 20h 40m.

Сотрясения с I=5 баллов наблюдались в двух селах: Янкуль и Сергиевское.

В селе Янкуль они были замечены всем населением, большинство проснулись. Толчки ощущались в направлении восток-запад длительностью до 1 минуты: первый – резкий вертикальный, затем – более слабые горизонтальные колебания. Возникла паника, люди выбежали на улицу и долго не заходили в дома. Сильно звенела посуда и дребезжали стекла. Двигались мелкие предметы на столах и телевизорах. Во многих саманных домах произошло растрескивание штукатурки. Беспокоились собаки (по ул. Красной). Кирпичное здание сельской школы (постройка 1975г.) ещё до землетрясения было всё в трещинах, обтянутых скобами. В результате землетрясения образовались новые трещины, не стянутые скобами.

В Сергиевском землетрясение ощущали все жители, спавшие проснулись. Некоторые ощутили два толчка, большинство отметили постепенное нарастание колебаний около 1 минуты, а затем их спад. Все слышали гул. Толчки ощущались в направлении восток-запад. Открывались двери, кровати и мебель стучали в стены, двигались мелкие предметы на столах, телевизорах, комодах. Сильно качались люстры и лампочки. Звенела посуда, дребезжали стёкла. Образовались трещины в штукатурке. Беспокоились собаки (по ул. Карла Маркса и Юбилейной).

Колебания с интенсивностью I=4-5 баллов наблюдались в сёлах Северное и Октябрь.

В Северном они ощущались большинством населения, спавшие проснулись от толчков. Большинство слышали гул. Некоторые ощущали два толчка. Длительность колебаний – от 10 секунд до 1 минуты. Качались лампочки и люстры, дребезжала посуда, сдвинулись мелкие предметы на телевизорах и комодах. Колебания были в направлении юго-запад. Образовались трещины в штукатурке. Беспокоились животные: до землетрясения лаяли собаки (по ул. Ленина и Крупской), а во время него - кричали гуси и лаяли собаки. На ул. Крупской треснул пополам дом, хозяева отметили плохое качество строительства (большой подвал). По дороге Сергиевское-Александровское на северном склоне образовалось много новых оползней и обновились старые.

В селе Октябрь землетрясение ощущалось всеми жителями, большинство проснулись от толчков. Многие слышали гул. Качались лампочки и люстры, дребезжала посуда, некоторые ощущали два толчка. Образовались мелкие трещины в штукатурке.

Интенсивность в I=4 балла отмечена в восьми сёлах:

В с. Кианкиз землетрясение ощущалось многими жителями, некоторые проснулись от толчков. Открывались дверцы шкафов, качались люстры, дребезжала посуда и стёкла. В Калиновском ощущали два толчка. Первый толчок с запада, затем сильные колебания в направлении север-юг. Некоторые слышали слабый гул. Многие от толчка проснулись. Качались лампочки и люстры. Дребезжали стёкла, как от проезжающего грузовика. Стучала мебель о стенку. Длительность колебаний – от 10-15 секунд до 1 минуты. Звенела посуда на полках и сервантах. По ул. Партизанской (№№54 и 56) и ул. Первомайской (№1) отметили беспокойство животных (лай собак до землетрясения, и кричали куры). В Грушевском землетрясение ощущалось большинством населения. Спавшие проснулись. Многие слышали гул. Длительность колебаний от 3-5 секунд до 1.5 минут. Толчки по направлению восток-запад. Некоторые ощущали два толчка. Дребезжала посуда, качались лампы, люстры, занавески. По ул. Гагарина (№39) в кирпичном доме (срок службы 20 лет), с фундаментом из камня с песком, образовалась трещина на потолке в направлении север-юг, переходящая на стену. Обои разорвались. При этом хозяева землетрясения не ощущали. Большинство населения села Дубовая Балка землетрясение ощущали, некоторые проснулись. Двигались мелкие предметы на телевизорах, сильно раскачивались люстры. Первый толчок – резкий, затем – мелкие колебания. Газопроводные трубы стучали в стену. В с. Высоцком землетрясение ощущалось большинством бодрствующего населения, некоторые спящие проснулись, некоторые слышали гул, качались лампочки, дребезжала посуда; в с. Ореховка – ощущали почти все бодрствующие, многие проснулись, дребезжала посуда, качались лампочки и занавески, некоторые слышали гул; в с. Султан – ощущалось большинством населения, некоторые проснулись, отмечая гул, колебались лампочки и люстры, дребезжала

посуда; в с. Круглолесское – ощущали многие жители, некоторые проснулись от толчков, слышался слабый гул, качались лампочки, дребезжала посуда.

Ещё в пяти сёлах наблюдались колебания с I=3-4 балла. В Гофицком они ощущались большинством населения, находившимся в состоянии покоя. Многие проснулись. Слышался гул, как от пролетающего самолёта. Качались люстры, дребезжала посуда. Стучали газовые трубы о стенку. Колебания по направлению восток-запад. В Александровском их ощущали люди, находившиеся в покое. Толчок с юго-запада. Длительность – до 1 минуты. Многие проснулись. Мелкое дрожание, как от проходящей рядом с домом тяжело груженой машины. Звенела посуда, скрипела мебель. В южном переулке отметили лай собаки до землетрясения. В Падинском ощущали многие жители, некоторые проснулись от толчка. Резкие колебания в направлении восток-запад. В Курсавке многие жители ощущали плавные колебания по направлению восток-запад, особенно в многоэтажных домах. Длительность колебаний – около 1 минуты. Раскачивались люстры и лампочки, дребезжала посуда. Некоторые жители на верхних этажах испугались. В селе Просянка ощущали многие бодрствующие, некоторые спящие проснулись. Качались лампочки, люстры, занавески, дребезжала посуда. Некоторые отмечали гул.

Основной толчок ощущался на большей территории Ставропольского края. Обобщенные данные макросейсмического обследования Верхне-Янкульского землетрясения представлены в Таблица 1.4, схема изосейст показана на Рисунок 1.10.

Таблица 1.4 Макросейсмические данные о Верхне-Янкульском землетрясении 19 октября 1999 г. в 18h 18m с КР=12.1, MS=4.4

№	Пункт	Δ	Звук	№	Пункт	Δ	Звук
6-7 баллов				13	Дубовая Балка	36	
1	Верхний Янкуль	0.5	сильный гул	14	Ореховка	38	
6 баллов				15	Грушевское	42	гул
2	Новый Янкуль	10	гул	3-4 балла			
5-6 баллов				16	Просянка	38	
3	Нижний Янкуль	16	гул	17	Крымгиреевское	40	
5 баллов				18	Александровское	43	
4	Сергиевское	18	гул	19	Курсавка	47	
5	Янкуль	24		20	Ставрополь	47	
4-5 баллов				21	Гофицкое	47	
6	Северное	27	гул	22	Падинское	51	
7	Октябрь	28	гул	3 балла			
4 балла				23	Дон. Балка	46	
8	Кианкиз	29		24	Сух. Буйвола	48	
9	Круглолесское	33	слабый гул	25	Рог. Балка	55	
10	Султан	34		26	Шишкино	57	
11	Высоцкое	34	гул	27	Светлоград	57	
12	Калиновское	35	слабый гул	28	Пятигорск	104	

К сожалению, макросейсмические данные об этом землетрясении приведены только для восточной части области, охваченной этим землетрясением и удаленной от района расположения всего Каскада Кубанских ГЭС.

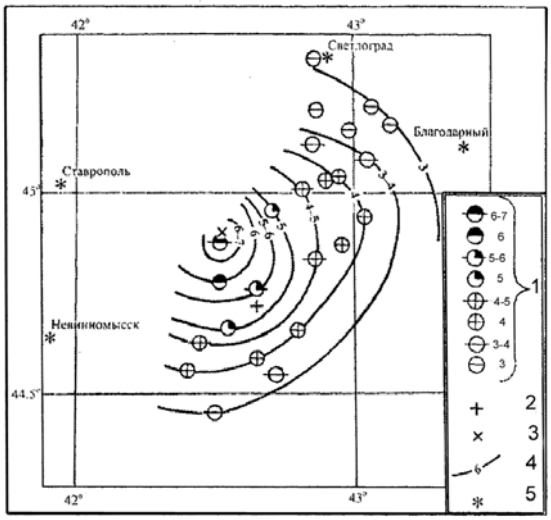


Рисунок 1.10 Карта изосейст Верхне-Янкульского землетрясения 19 октября с КР=12.1, MS=4.4. 1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2,3 – эпицентр инструментальный и макросейсмический соответственно; 4 – изосейста; 5 – населённые пункты.

Решение механизма очага Верхне-Янкульского землетрясения получено по знакам первых вступлений Р-волн на 21 станции и показано на Рисунок 1.11, параметры механизма приведены в Таблица 1.5. Интервал эпицентральных расстояний равен Δ=0.2 - 44.8°. Азимутальное окружение эпицентра станциями близко к равномерному. Землетрясение произошло под действием несколько преобладающих напряжений растяжения. Одна из нодальных плоскостей NP1 субширотна и наклонена к горизонту под углом 43°, тип движения – сброс с компонентой левостороннего сдвига. Другая плоскость NP2 субмеридиональна, имеет северное-северо-западное простирание и крутое падение (DP=85°). В движении по ней также преобладают сбросовые компоненты. ... В качестве истинной плоскости разрыва можно предположить плоскость NP2 в связи с тем, что её субмеридиональное простирание аналогично простиранию близлежащего участка крупного сброса.



Рисунок 1.11 Механизм очага Верхне-Янкульского землетрясения 19 октября 1999 г. с КР=12.1, MS=4.4. 1 – нодальные линии; 2,3 – оси главных напряжений сжатия (Уг-15, Аз – 230) и растяжения (Уг-27, Аз-118) соответственно; зачернены области волн сжатия (соответствующие оси растяжения)

Таблица 1.5 Параметры механизма очага Верхне-Янкульского землетрясения

№	Дата д м	t0 ч м с	h, км	Магнитуды		KP	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
							T		N		P		NP1			NP2		
				MS/n	MPSP/n		PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
	19.10	18 18 45.3	13	4.4/18	4.5/7	12.0	27	118	42	0	15	230	261	43	-7	356	85	-133

Как показал проведенный анализ, за последние 100 лет на участке расположения Егорлыкского водохранилища интенсивность сотрясений при ближайших к нему землетрясениях с M=4.2-4.5 не превышала 5 баллов. Судя по тому, что при сильнейшем в районе Кисловодском землетрясении 29.06.1921 г. (Мрасч=6.0), произошедшем примерно в 50 км к юго-востоку от площадки, сотрясения в Ставрополе не отмечены, интенсивность сотрясений на участке плотины Егорлыкского водохранилища также вряд ли превышала 5 баллов.

В районе гидроузла ощущались и некоторые более удаленные землетрясения, хотя интенсивность сотрясений при этих событиях не превышала 3-4 баллов. Ниже приведено описание ряда наиболее значительных землетрясений, для которых в доступных нам источниках удалось найти сведения об их последствиях. Так, в частности, с указанной интенсивностью здесь могли ощущаться Дагестанские землетрясения 1830 г. (Рисунок 1.12) и 1970 г. (Рисунок 1.13).

Ананьин, 1977.

1830 г.,март, 9, 13 ч. 22 мин.[1] (Рис.1.12). φ = 43,0°±0,5°; λ= 47,0°±0,5°; I_0=8 баллов; M = 6 1/2; $h_{макр}$ = 25 км. Землетрясение ощущалось на большой территории Северного Кавказа и частично Закавказья: от Астрахани до Тбилиси и от Краснодара до Дербента.

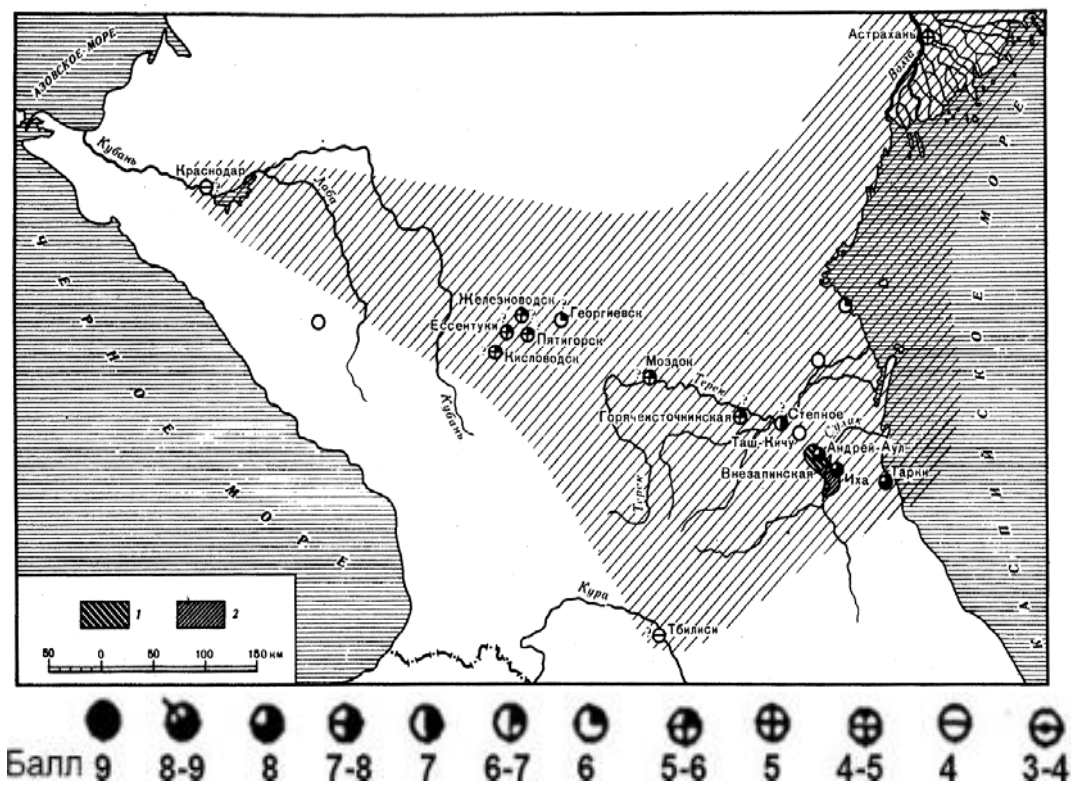


Рисунок 1.12 Область распространения сотрясений при землетрясении 9 марта 1830 г.

Крупнейшие землетрясения с очагами на южном склоне Большого Кавказа – Чхалтинское 1963 и Рача-Джавское 1991, могли ощущаться в этом районе с интенсивностью 2-3 балла (см., например, Рисунок 1.14).

Чхалтинское землетрясение 16 июля 1963 г.

НК (Кавказ)

Дата	Час	Мин	Сек	С.Ш.	В.Д.	Глубина, км	M	Io, балл	Примечания	Источники
1970 июль 16	18	27	13.7 ±1 с	43.25 ±0.1	41.58 ±0.1	5±5	6.4 ±0.2	9 ±0.5	Чхалтинское; 9 – 5 (4); 8 – 11(3); 7 – ё7(3); 6 – 40(3); 5 – 85(14); 4 – 150(12); 3 – 260(6); $h_И$=5; по ближним изосейстам $h_И$=4, по дальним $h_И$=16. Возможно, землетрясение с большой венртикальной протяженностью очага	АБВ, АК, Б, Еж, ЦП, 5, 53, 152, 199, 217, 218, 249, 250, 251, 258.

Солоненко В.П., Хромовских В.С.., 1974.

16 июля 1963 г., вечером, на Кавказе произошло 9-балльное землетрясение. Случись оно в каком-либо густонаселенном районе Грузии, о нем писали бы все газеты мира — энергия его более чем в 300 раз превышала энергию всем памятного Ташкентского земле трясения 26 апреля 1966 г. Но эпицентр лежал в глубине Большого Кавказского хребта, и землетрясение прошло почти незамеченным. Исследователи, прошедщие по свежим его следам (А. Д. Цхакая, Б. Л. Соловьев и др. единодушно оценили силу землетрясения в 9, а в районе селения Реква — более 9 баллов. Мощные обвалы произошли на склонах гор на площади около 80 км^2. Наиболее крупный из них —Ацгарский, на левом склоне р. Чхалты, имел длину около 2 км и

ширину до 400 м, объем 3 млн м^3. Обвальный конус высотой до 300 м перекрыл на высоту 30 м р. Чхалту, на которой образовавлось озеро. Однако через 3 дня запруда была прорвана. На правом берегу р. Чхалты, между селениями Ацгара и Реква, в коренных юрских глинистых сланцах образовалась сейсмотектоническая трещина длиной более 500 м.

Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г.

НК (Кавказ)

Дата	Час	Мин	Сек	С.Ш.	В.Д.	Глубина, км	M	Io, балл	Примечания	Источники
1970 май 14	18	12	24 ±1 с	43.0 ±0.1	47.09 ±0.1	13 11-16	6.6 ±0.2	8-9 ±0.5	Дагестанское (основной толчок); 8 – 16(20); 7 – 35(32); 6 – 75(68); 5 – 130(20); 4 – 340(41); 3 – 480(27); hI=12; hIM=25; hИ=12±5; a=0.07°; в=0.07°; α=280°; K=16(5); mPV=6.5(14)	Б, Еж, ЦП, 24, 53, 258, 259

Здесь: Б – Сейсмологический бюллетень; Еж – "землетрясения в СССР в 1970 году; ЦП – Цхакая, Папалашвили, 1973; 24 – Ахмедов и др., 1970; 53 – Борисов, Рейснер, 1974; 258 – Шебалин, 1974; 259 – Шебалин и др., 1973.

Шебалин Н.В. и др., 1973.

Дагестанское землетрясение 14.V.1970 г. произошло в эпицентральной области сильного землетрясения 9.III 1830 г., в предгорной части Большого Кавказа и южной периферии Терско-Сулакской низменности. 14.V 1970 г. в 09 ч. 20 м. в пункте с координатами 42,99°N и 47,12°E произошло 7 балльное землетрясение с M=5.7. В 18 ч. 12 м. в пункте с координатами 43,00°N и 47,09°E последовал основной толчок с M=6.6, интенсивность которого в эпицентре достигала 8 баллов. Основной толчок 14.V сопровождался большим количеством афтершоков, сильнейшие из которых имели магнитуду 5.5. Площадь наибольших повреждений достигала 1000 км^2. Землетрясение ощущалось на север – до Волгограда, на восток – до п-ова Мангышлак, на запад – до Майкопа, на юг – до Ленинакана (Рисунок 1.13). Выявлены многочисленные остаточные деформации.

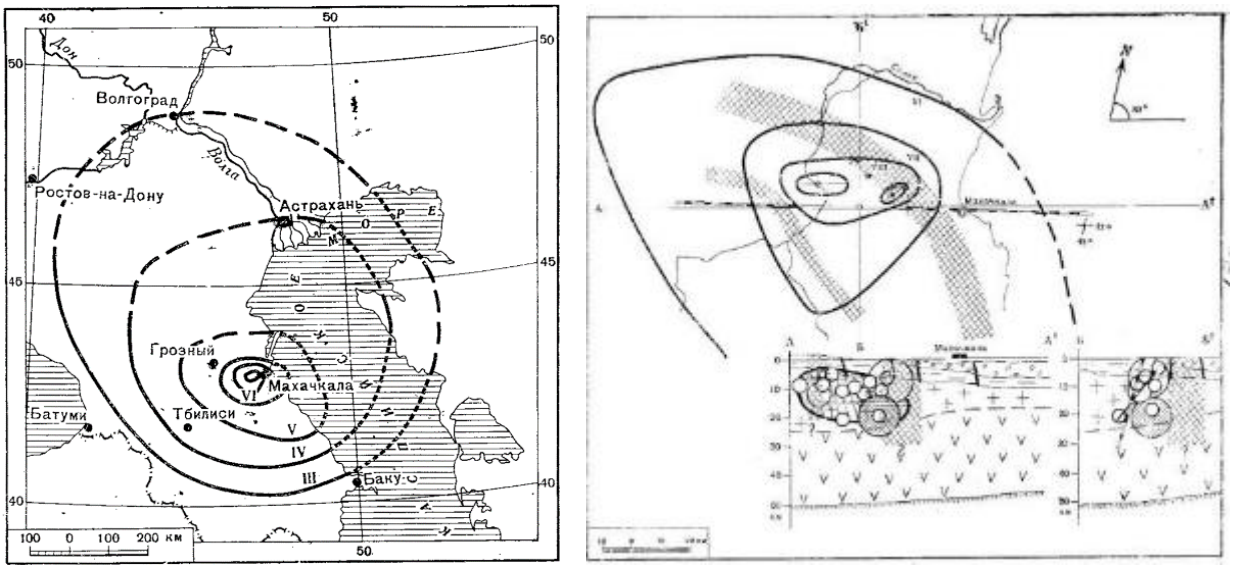


Рисунок 1.13 Схемы изосейст и разрезы очаговой зоны Дагестанского землетрясения 1970 г. из работы (Шебалин, 1974.)

Рача-Джавское землетрясение 29 апреля 1991 г.

Землетрясения в СССР в 1991 г.

Дата	Время t_0, ч мин с	Эпицентр φ°N λ°E	Глубина очага h, км	Магнитуда MLH MPV	Интенсивность в эпицентре I_0	Примечание
29.04	09 12 46,8	42.39 43.67	6	6.9 6.7	8-9	8-9 – 12 (5), 8 – 21(39), 7 – 35 (50), 6 – 51 (66), 5 – 125 (53), 4 – 220 (65), 3 – 305 (39), hi=15-20; him=18

29 апреля 1991 г. в 09 ч. 12 мин. в Тбилиси ощущалось сильное землетрясение до 6 баллов. По интенсивности оно не уступало известному Спитакскому землетрясению, имевшему место на территории Армении 7 декабря 1988 г.

Эпицентр главного толчка Рача-Джавского землетрясения находился на Джава-Гагаринском разломе Главного Кавказского хребта. Землетрясение ощущалось почти на всей территории Большого Каказа (Рисунок 1.14).

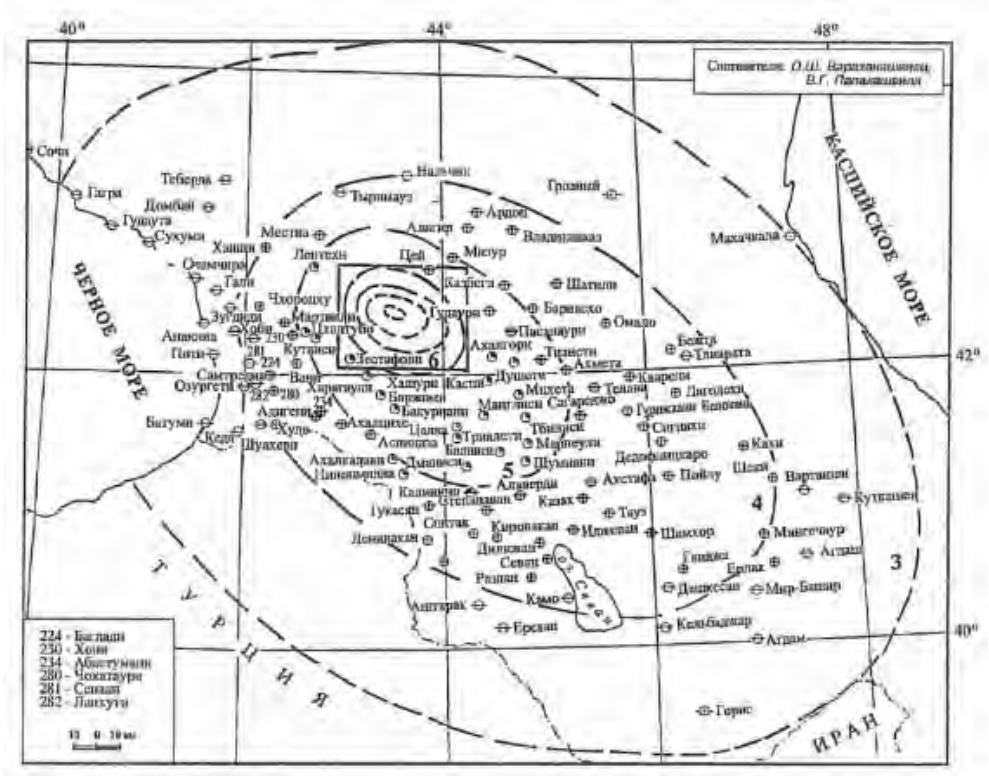


Рисунок 1.14 Карта изосейст Рачинского (Рача-Джавского) землетрясения 29 апреля 1991 г.

Землетрясение сопровождалось большим числом афтершоков (только за первую декаду мая около 2,5 тыс.). Первый сильный афтершок с эпицентром в районе Амболаури произошёл 3 мая, 15 июня последовал второй сильный афтершок с эпицентром в районе г. Джава.

Следует отметить, что в эпицентральной области почти все постройки представляют одно- или двухэтажные здания из камня или деревянные. Они часто выстроены без учёта сейсмостойкости.

Интересной особенностью Рачинского землетрясения является отсутствие достоверно выделяемых сейсмотектонических дислокаций при незначительной (6-14 км) глубине гипоцентра, а также сравнительно низкая для такой магнитуды и глубины очага интенсивность сотрясений (менее 9 баллов), определенная по разрушениям и повреждениям построек в эпицентральной зоне. В то же время землетрясение сопровождалось многочисленными оползнями и обвалами, некоторые из которых достигали в объеме 20-30 миллионов кубометров. Наиболее массовые склоновые обрушения произошли в зоне примерно 120 х 30 км (Рогожин и др., 1991; Белоусов, Чичагов, 1993), а отдельные - на значительно большем расстоянии от эпицентра. В частности, как сообщили нам местные геологи, при Джавском землетрясении произошла активизация оползней в отложениях древней Каривхохской каменной лавины в долине р. Ардон около поселка Зинцар у южного подножия Скалистого хребта.

Отсутствие “первичных” сейсмотектонических дислокаций при малой глубине очага и значительном развитии сейсмогравитационных дислокаций, послужило, наряду с данными о механизме очага Рачинского землетрясения, основанием для разработки сейсмотектонической модели, согласно которой очаг приурочен к срыву по поверхности фундамента, а не к крутым разрывам, выходящим на дневную поверхность непосредственно в плейстосейстовой области (Рогожин, 1993). По устному сообщению И.В. Ананьина (ИФЗ РАН), судя по распространению разрушений в пределах плейстосейстовой области, подвижка при этом землетрясении имела характер поддвига (Закавказская глыба поддвигалась под Большой Кавказ).

Альтернативной точки зрения придерживался Т.П. Белоусов (2009), который проследил линейную зону трещин и мелких разрывов протяженностью около 40 км вдоль разлома преимущественно взбросового типа, проходящего вдоль хр. Хихата и, на основании анализа расположения и морфологии этих трещин, сделал вывод о существенной правосдвиговой компоненте смещения по круто падающему (субвертикальному) очаговому разрыву.

Следует отметить, что, вне зависимости от рассматриваемых моделей, Рачинское землетрясение с магнитудой порядка 7.0, является определяющим при оценке M_{max} сейсмогенерирующей зоны, проходящий вдоль южного склона Главного Кавказского хребта. Значение M_{max} для этой зоны не может быть меньше магнитуды этого землетрясения.

Барисахское землетрясение 23 сентября 1992 г.

Барисахское землетрясение с Ms=6.3-6.6 произошло 23.09.1992 г. примерно в 90 км к восток-юго-востоку от створа. К сожалению, из-за вооруженного конфликта в Южной Осетии его эпицентральная область не была обследована и для этого события имеются только инструментальные данные о положении его эпицентра.

Следует подчеркнуть, что приведенные выше макросейсмические сведения имеются за период не более 200 лет (первое землетрясение, для которого они доступны – Дагестанское, произошло в 1830 г; первое сильное землетрясение в пределах 200-километровой зоны – в 1921 г.), что существенно меньше нормативных периодов повторяемости расчетных сейсмических воздействий.

1.4 Инструментальные сейсмологические данные

Полнота сейсмической информации за так называемый "инструментальный период" зависит от развития регистрирующей сети сейсмостанций, технического уровня аппаратурного оснащения и их расположения относительно исследуемой площади. На Кавказе первые сейсмостанции были установлены в конце XIX в. в Тбилиси и Баку. Однако

региональные сети сейсмостанций с аппаратурой, параметры которой разрешали регистрировать сейсмические события на близких расстояниях в широком диапазоне энергетических классов, стали развиваться только в начале 60-х годов XX в. Значительное увеличения числа сейсмостанций и переоснащение их более чувствительной аппаратурой произошло соответственно в начале 70-х и в начале 80-х годов.

В зависимости от развития наблюдательной сети сейсмостанций без пропусков обрабатываются сейсмические события разных энергетических классов. В Таблица 1.6 приведен список сейсмостанций Северного Кавказа, принадлежащих ЕГС РАН.

Таблица 1.6 Сейсмические станции Российской Академии наук (по данным ЕГС РАН)

Сеть	Название с/ст	Межд. код	Год откр.	Месяц	Число	Дата закр.	С.Ш.	В.Д.	Превышение, м
NORS	Ардон	ARNR	2001	1	31		43.19	44.28	428
NORS	Ботакоюрт	BTKR	2005	12	2		43.37	44.54	597
NORS	Владикавказ	VLKR	2000	8	12		43.05	44.68	684
NORS	Дигорское Ущелье	DIGR	2004	7	1		42.90	43.58	1907
NORS	Комсомольская	KMSR	2005	8	11		43.37	44.29	348
NORS	Кора	KORR	2005	11	3		43.09	44.07	621
NORS	Лац	LACR	2004	8	1		42.83	44.30	1287
NORS	Лескен	LSNR	2004	8	1		43.27	43.82	694
NORS	Притеречная	PRTR	2005	8	8		43.75	44.28	136
NORS	Сунжа	SNJR	2005	12	26		43.07	44.81	671
NORS	Терская	TRKR	2005	8	9		43.72	44.73	141
OBN	Анапа	ANN	1968	3	7		44.88	37.31	58
OBN	Возрождение	VOZR	2009	11	23		44.55	38.22	92
OBN	Гофицкое	GOF	1994	3	11		45.06	43.04	293
OBN	Грозный	GRO	1998	1	1	01.03.1999	43.20	45.80	196
OBN	Грозный	GRO	2008	3	6		43.34	45.66	150
OBN	Кисловодск	KIV	1994	2	3		43.96	42.69	1054
OBN	Кисловодская группа	KIV0	1992	9	28		43.96	42.70	1196
OBN	Кисловодская телеметрия	KVT	2000	8	1		43.96	42.70	1196
OBN	Краснодар	-	2003	9	2	01.11.2003	45.02	39.03	66
OBN	Краснодар	KGUR	2003	11	2		45.02	39.03	66
OBN	Лабинск	LABN	2008	9	26		44.64	40.72	290
OBN	Махачкала	MAK	1951	12	8		42.95	47.50	42
OBN	Нейтрино	NEY	2008	12	5		43.25	42.72	1715
OBN	Пятигорск	PYA	1909	10	16		44.04	43.08	571
OBN	Сочи	SOC	1928	1	1		43.57	39.76	180
OBN	Цей	ZEI	1984	1	1		42.79	43.90	1926

В период с 1951 по 1965 годы на Кавказе было всего четыре станции, оборудованные региональной аппаратурой: Горис - V=12000; Махачкала - V=5000; Нахичевань - V= 9000; Спепанаван - V=21000. Такая система наблюдений могла обеспечить надежную регистрацию сейсмических событий с К>12 (М>4).

Сейсмостанции, находящиеся за пределами исследуемой территории, из-за удаленности и ограниченных возможностей регистрирующей аппаратуры, надежно регистрировали события в пределах исследуемого района, начиная с К>11 (М>4).

С начала 80-х годов сеть сейсмологических станций могла обеспечивать регистрацию без пропусков сейсмических событий с М>2 (К>7). К сожалению, они имеют разное административное подчинение, причем ряд станций принадлежит Грузии, поэтому в настоящее время, как правило, не удается организовать совместную обработку сейсмологических материалов.

В качестве основы при анализе сейсмичности района исследований в радиусе 200 км от плотины Егорлыкского гидроузла использован специализированный каталог землетрясений Северной Евразии без афтершоков (ответственные редакторы: Н.В. Кондорская, В.И. Уломов), дополненный до 2018 г. (Рисунок 2.17). Каталог содержит дату, время, географические координаты эпицентра, глубину гипоцентра, магнитуду землетрясений и оценки погрешностей определения этих параметров. В каталоге магнитуды приведены к шкале Mlh). Каталог был, далее, дополнен до 2021 года по данным сборников Землетрясения Росии, выпускаемых ЕГС РАН и бюллетеням ЕГС РАН. Сведения о землетрясениях 2022 г. взяты по данным службы срочных донесений ЕГС РАН, однако для этих событий указаны магнитуды mb (от 3.3 до 4.2) и, как показывает практика, в дальнейшем их параметры нередко пересматриваются. Следует отметить, что ни одно из землетрясений, произошедших за последние годы, не превысило оценок, принятых для моделей зон ВОЗ к картам ОСР-97 и 2016.

Выборка эпицентров с М≥ 3.5 сделана в радиусе 200 км от точки расположения объекта (к магнитуде 3.5 приравнивается диапазон магнитуд 3.3-3.7, поэтому в каталог включены события с $M_{расч}$= 3.3 и $M_{расч}$= 3.4).

1.5 Глубинность сейсмического процесса

Методики определения положения гипоцентров, используемые в настоящее время, позволяют определять глубину землетрясения, если оно зарегистрировано сейсмостанцией, находящейся на эпицентральном расстоянии, соизмеримом с глубиной очага. По результатам обработки инструментальных наблюдений можно сказать, что гипоцентры землетрясений, произошедших на рассматриваемых территорий за последние десятилетия, в основном

приурочены к глубинам 5-15 км. Однако, анализируя распределение землетрясений по глубине, следует иметь в виду, что большинство событий, глубина гипоцентров которых определена с достаточно высокой точностью – это афтершоки Рачинского землетрясения, которые регистрировались очень плотной специальной сетью сейсмостанций. Т.е. такая глубинность характерна именно для событий в очаговой области именно этого землетрясения и в других частях района может быть иной. Так, глубина гипоцентра сильного Барисахского землетрясения составляла около 20 км.

На Рисунок 1.15 и Рисунок 1.16 приводится выборка землетрясений для участка Каскада Кубанских ГЭС, а также распределение эпицентров землетрясений по глубине с учётом величины магнитуды события по субмеридиональному профилю. Хорошо видно, что глубины землетрясения с магнитудой более 5 находятся в интервале от 10 до 30 км, а также налицо резкое падение количества зарегистрированных землетрясений к северу от 45° с.ш.

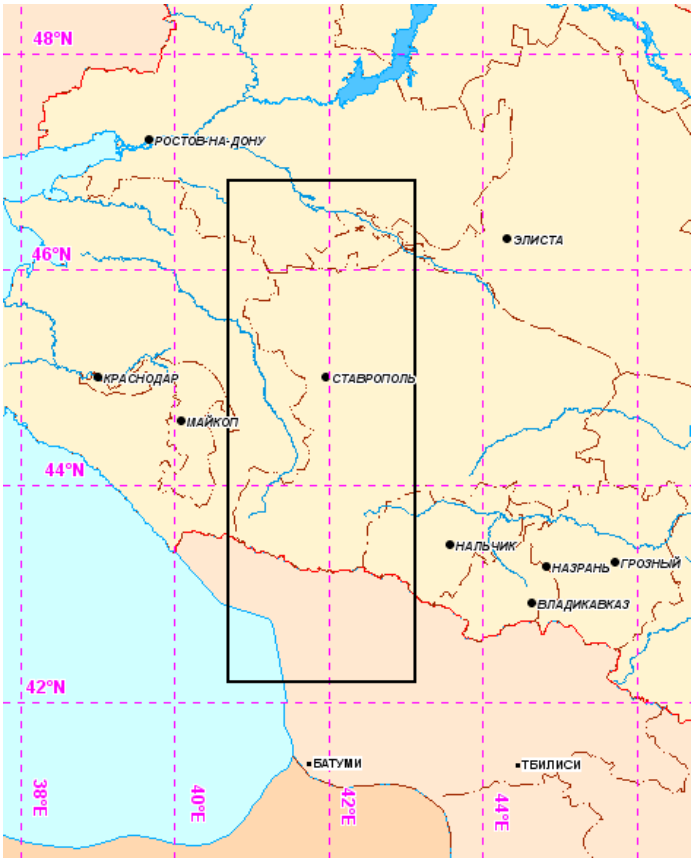


Рисунок 1.15 Район выборки эпицентров землетрясений для построения их субмеридионального распределения

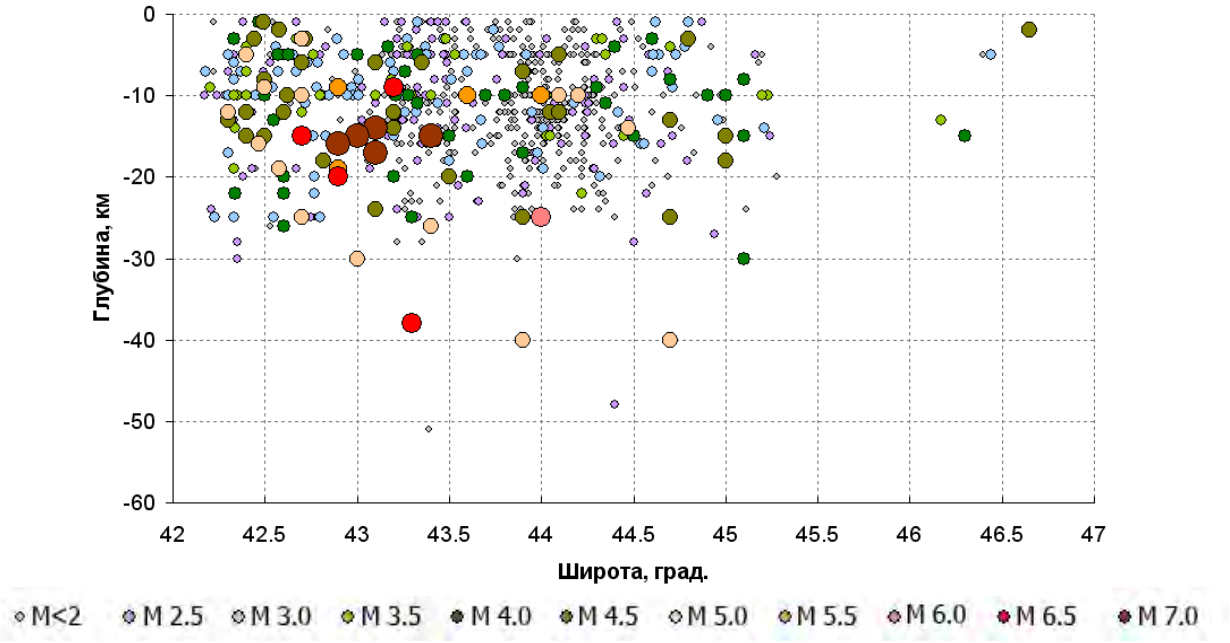


Рисунок 1.16 Субмеридианальное распределение землетрясений по глубине с учётом величины магнитуды.
Землетрясения с магнитудой 7 определены по палеосейсмодислокациям

1.6 Построение регионального графика повторяемости землетрясений

В основу вероятностного анализа сейсмической опасности положена парадигма стационарности сейсмического режима во времени. Насколько верны данные утверждения, тема отдельной дискуссии. Но, тем не менее, именно исходя их этой гипотезы ведется дальнейшее моделирование в рамках ВАСО.

В идеальном случае, график накопления землетрясений фиксированного интервала магнитуд должен представлять собой прямую линию. Если землетрясения не ложатся на прямую линию тренда, предполагается, что это либо следствие непредставительности каталога, либо локальный во времени эффект, не характеризующий, в целом, долговременный сейсмический режим.

Учитывая особенности самой организации сейсмологического мониторинга, представительность каталогов землетрясений меняется не только от региона к региону, но и, условно, от года к году.

Например, в большинстве каталогов землетрясений на территорию России, для землетрясений малых магнитуд наблюдается искривление графиков накопления в 90-ые годы (а в некоторых регионах и по сей день ситуация не изменилась). Это связано не с изменением сейсмического режима, а с изменением представительного уровня регистрации в результате сокращения региональных сетей станций. Очевидно, подобные интервалы необходимо исключать.

Основываясь на этих соображениях, далее на графиках накопления выбирались максимальные по продолжительности интервалы времени, в которых график имеет преимущественно линейный вид, и обеспечивает максимальную скорость накопления (минимальный период повторяемости) землетрясений. При таких критериях мы получаем квазистационарный сейсмический режим территории с обоснованным наименьшим периодом повторяемости землетрясений.

Если включать в расчет события с большим периодом повторяемости, неважно произошли они до выбранного интервала времени или после него, полученная в результате средняя повторяемость землетрясений будет ниже, чем в «прямолинейном интервале», а значит, заведомо будет занижать вероятностные оценки опасности для него.

Из этой схемы необходимо исключать группы землетрясений в пределах принятого для параметризации магнитудного шага, произошедшие в короткий интервал времени, и не характеризующие в целом повторяемость подобных землетрясений в регионе (форшоковые и афтершоковые последовательности).

Кроме того, чтобы учесть вероятные системные ошибки в определении магнитуд землетрясений, и получения статистически обоснованных графиков повторяемости, были построены графики накопления для пяти вариантов: для полученной магнитуды Mlh, и для Mlh+0.1, Mlh-0.1, Mlh+0.2, Mlh-0.2. Итоговым принимался средний график по пяти вариантам.

На Рисунок 1.17 и Рисунок 1.21 приведены графики накопления землетрясений с шагом 0.5 по магнитуде. По оси ординат шкала времени, по оси абсцисс – количество землетрясений. Построения выполнены для 200 км зона вокруг площадки с использование сводного каталога.

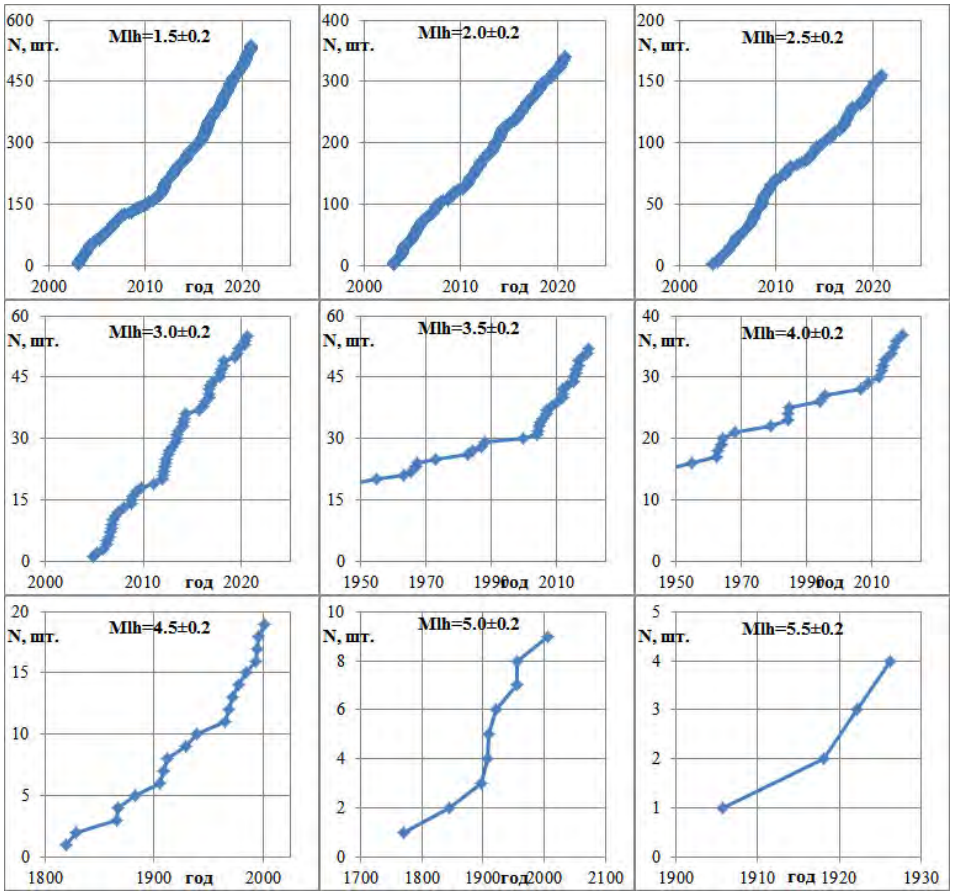


Рисунок 1.17 Графики накопления 200-км зоны (Mlh)

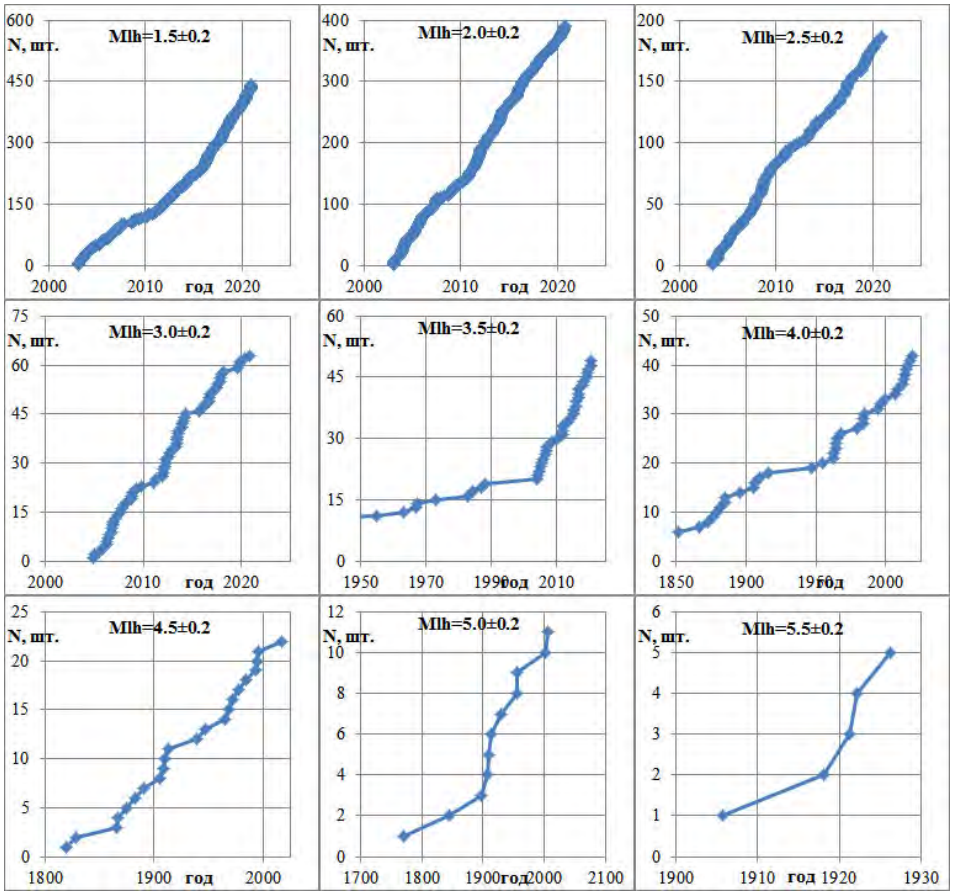


Рисунок 1.18 Графики накопления 200 км-зоны (Mlh+0.1)

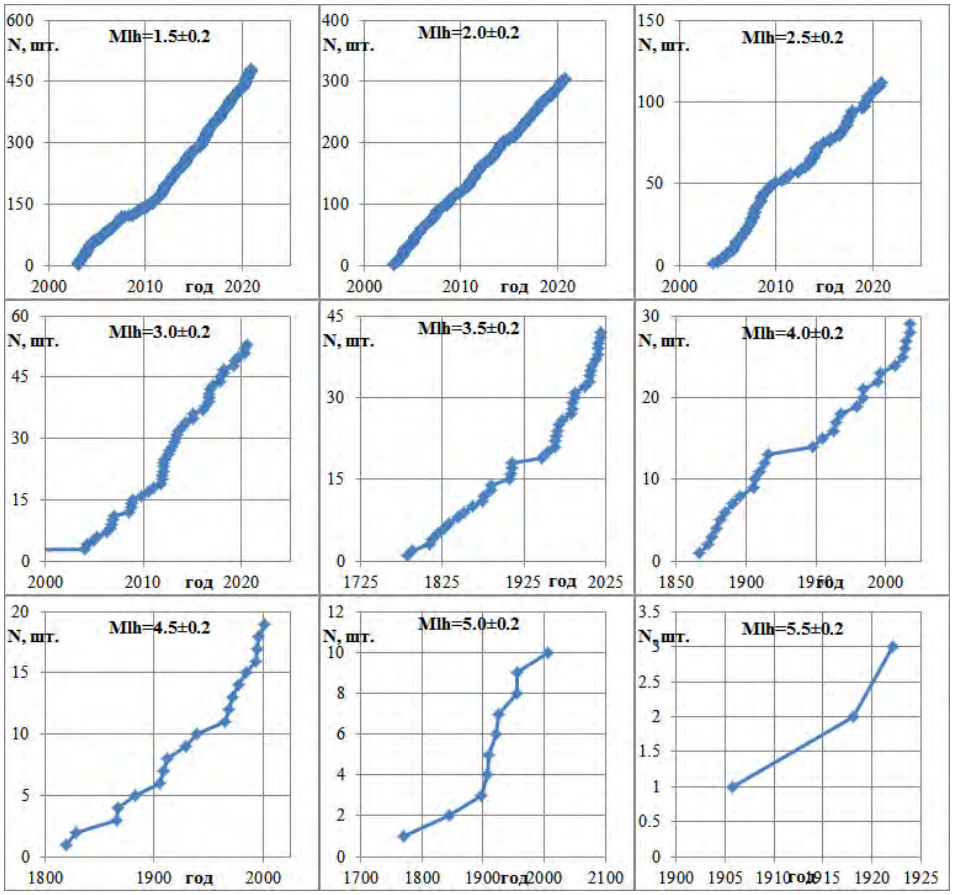


Рисунок 1.19 Графики накопления 200-км зоны (Mlh-0.1)

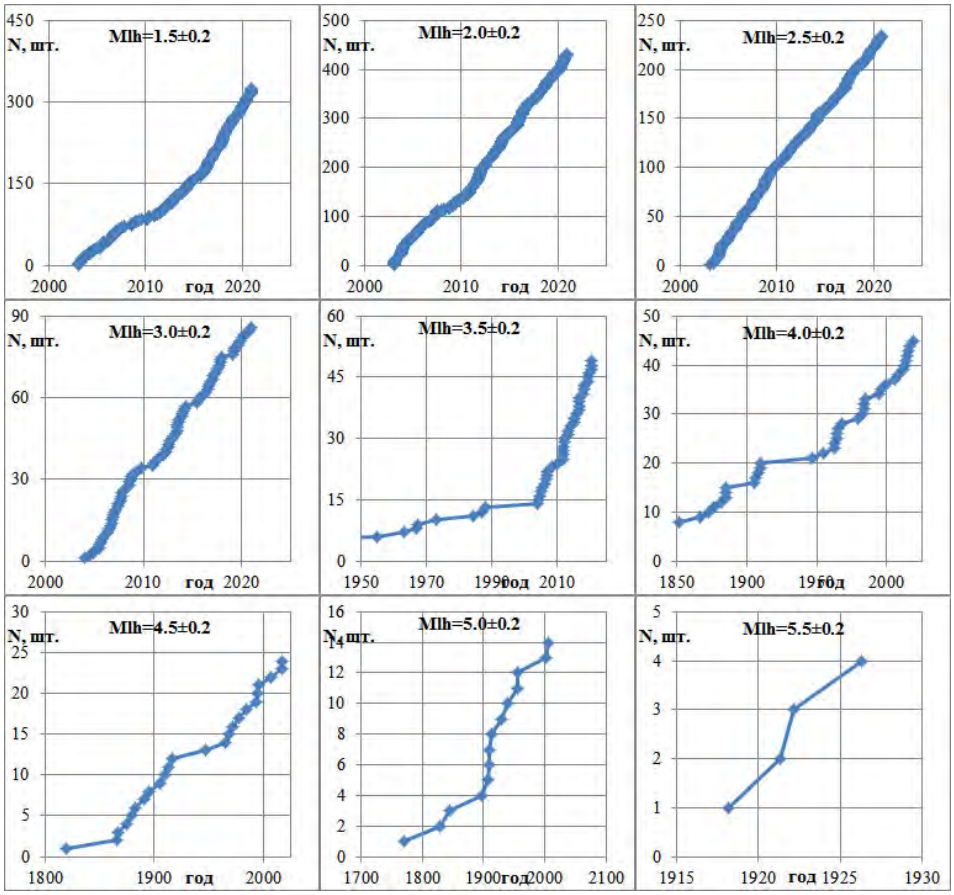


Рисунок 1.20 Графики накопления 200-км зоны (Mlh+0.2)

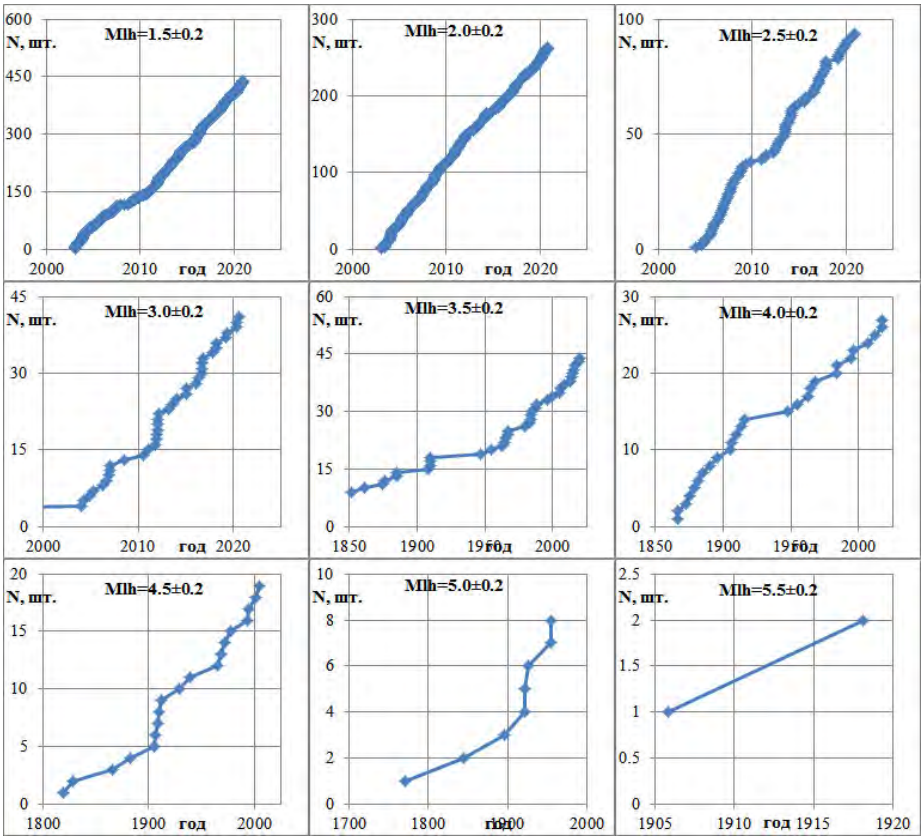


Рисунок 1.21 Графики накопления 200-км зоны (Mlh-0.2)

Обобщенные данные графиков накопления, использованные для построения графиков повторяемости приведены в Таблица 1.7.

Таблица 1.7 Исходные данные для построения графика повторяемости 200 км. зоны

Поправка	Mlh	Период		Кол-во		V=(до-от) (n2-n1)
		от	до	n1	n2	
Mlh	2	2003	2021	1	341	18.88889
	2.5	2003	2021	1	152	8.38889
	3	2005	2020	1	54	3.53333
	3.5	2004	2019	31	52	1.40000
	4	1962	2019	17	39	0.38596
	4.5	1965	2001	11	19	0.22222
	5	1897	2005	3	9	0.05556
	5.5	1906	2022	1	4	0.02586
Mlh+0.1	2	2003	2021	1	385	21.33333
	2.5	2003	2021	1	185	10.22222
	3	2005	2020	1	63	4.13333
	3.5	2004	2020	20	48	1.75000
	4	2007	2019	34	42	0.66667
	4.5	1965	1996	14	21	0.22581
	5	1897	2005	3	11	0.07407
	5.5	1906	2022	1	5	0.03448
Mlh-0.1	2	2003	2021	1	303	16.77778
	2.5	2003	2021	1	112	6.16667
	3	2005	2020	3	52	3.26667
	3.5	2003	2020	23	42	1.11765
	4	2007	2018	24	29	0.45455
	4.5	1965	2001	11	19	0.22222
	5	1897	2005	3	10	0.06481
	5.5	1906	2022	1	3	0.01724

Поправка	Mlh	Период		Кол-во		V=(до-от) (n2-n1)
		от	до	n1	n2	
Mlh+0.2	2	2003	2021	1	431	23.88889
	2.5	2003	2021	1	232	12.83333
	3	2005	2020	1	86	5.66667
	3.5	2004	2019	14	49	2.33333
	4	1994	2019	34	45	0.44000
	4.5	1965	2018	14	24	0.18868
	5	1897	2005	4	14	0.09259
	5.5	1918	2022	1	4	0.02885
Mlh-0.2	2	2003	2021	1	264	14.61111
	2.5	2003	2021	1	94	5.16667
	3	2012	2021	21	41	2.22222
	3.5	2000	2019	34	43	0.47368
	4	1866	1916	1	14	0.26000
	4.5	1820	2005	1	19	0.09730
	5	1897	2005	3	8	0.04630
	5.5	1906	2022	1	2	0.00862

В Таблица 1.8 и Рисунок 1.22 приведены сводные значения графиков повторяемости и средняя повторяемость землетрясений в диапазоне магнитуд 3.8-7.2 (V, 1/год)

Таблица 1.8 Графики повторяемости, приведенные к 1000 км^2

Mlh	V_{Mlh}	$V_{Mlh+0.1}$	$V_{Mlh-0.1}$	$V_{Mlh+0.2}$	$V_{Mlh-0.2}$	Итог
2	1.276206	1.329059	1.622308	1.378196	1.600081	1.44117
2.5	0.923704	1.009545	1.224734	1.108339	1.164683	1.086201
3	0.548185	0.6163	0.79005	0.753328	0.71321	0.684215
3.5	0.146128	0.243038	0.514105	0.367977	0.346787	0.323607
4	-0.41345	-0.17609	0.048305	-0.35655	-0.32451	-0.24446
4.5	-0.65321	-0.64626	-0.34242	-0.72428	-0.58503	-0.59024
5	-1.25527	-1.13033	-0.65321	-1.03342	-1.0119	-1.01683
5.5	-1.58734	-1.4624	-1.18833	-1.53991	-1.33445	-1.42249

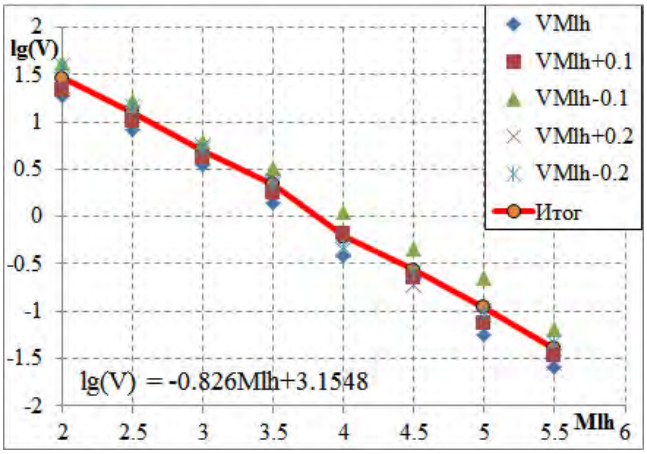


Рисунок 1.22 Итоговый график повторяемости землетрясений 200 км зоны

В диапазоне магнитуд более 6.0 надежной статистики, чтобы определить повторяемость землетрясений в 200 км зоне Егорлыкского гидроузла нет. Поэтому для определения повторяемости землетрясений в указанном диапазоне принят график повторяемости землетрясений региона Крым-Кавказского региона сейсмической регионализации ОСР-2016, нормированный к площади 200 км. зоны. Итоговые параметры графика повторяемости землетрясений в 200 км зоне) приведены в Таблица 1.9.

Информативным можно считать сравнение графика повторяемости 200-км зоны и суммарные графики повторяемости зон ВОЗ моделей ОСР-97/2015 и ОСР-2016 попадающих в 200 км зону (Рисунок 1.23). Из рисунка видно, что в интервале магнитуд Mlh<6 график повторяемости 200 км зоны выше, чем графики повторяемости зон ВОЗ ОСР-2016 и ОСР-97/2015, в области магнитуд Mlh>6 полученный для 200 км зоны график фактически совпадает с графиком повторяемости зон ВОЗ ОСР-2016.

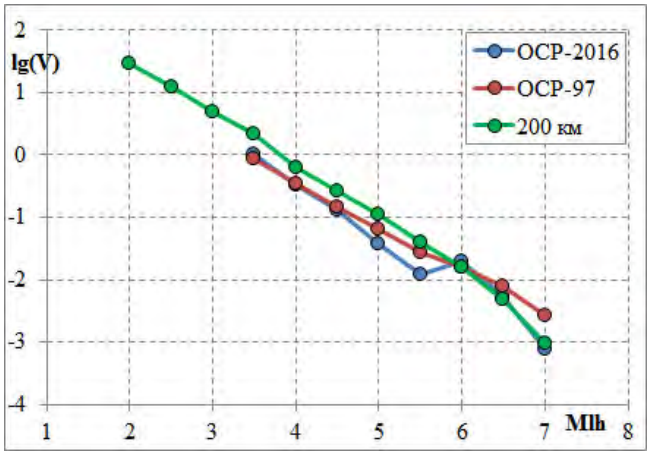


Рисунок 1.23 Графики повторяемости землетрясений 200 км. зоны

Из этого можно сделать вывод, что рассматриваемая 200 километровая зона вокруг проектируемого объекта достаточно однородна с точки зрения распределения сейсмичности.

Таблица 1.9 Итоговый график повторяемости 200 км зоны

Mlh±0.2	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
Повторяемость в год	29.168	12.567	4.933	2.194	0.617	0.270	0.108	0.0401	0.0158	0.0049	0.0009
Период повтор., лет	0.0343	0.0796	0.203	0.456	1.621	3.700	9.229	24.962	63.27	204.70	1059.6

2 Активные разломы

Согласно карте активных разломов (Рисунок 2.1), в окрестностях гидроузлов Кубанского Каскада активные разломы, выделяемые с достаточно высокой степенью достоверности (параметр CONF=A, B) находятся в районе с. Казьминское, примерно в 50 км к югу от Егорлыкского гидроузла, и в зоне Главного Кавказского разлома, на удалении около 180-200 км от плотины. Намного большее число разломов выделено предположительно (параметр CONF=C, D). Эти нарушения учитывались при разработке региональной модели зон ВОЗ, но следует подчеркнуть, что достоверность их выделения, особенно разломов категории D весьма невелика (Бачманов, и др. 2017).

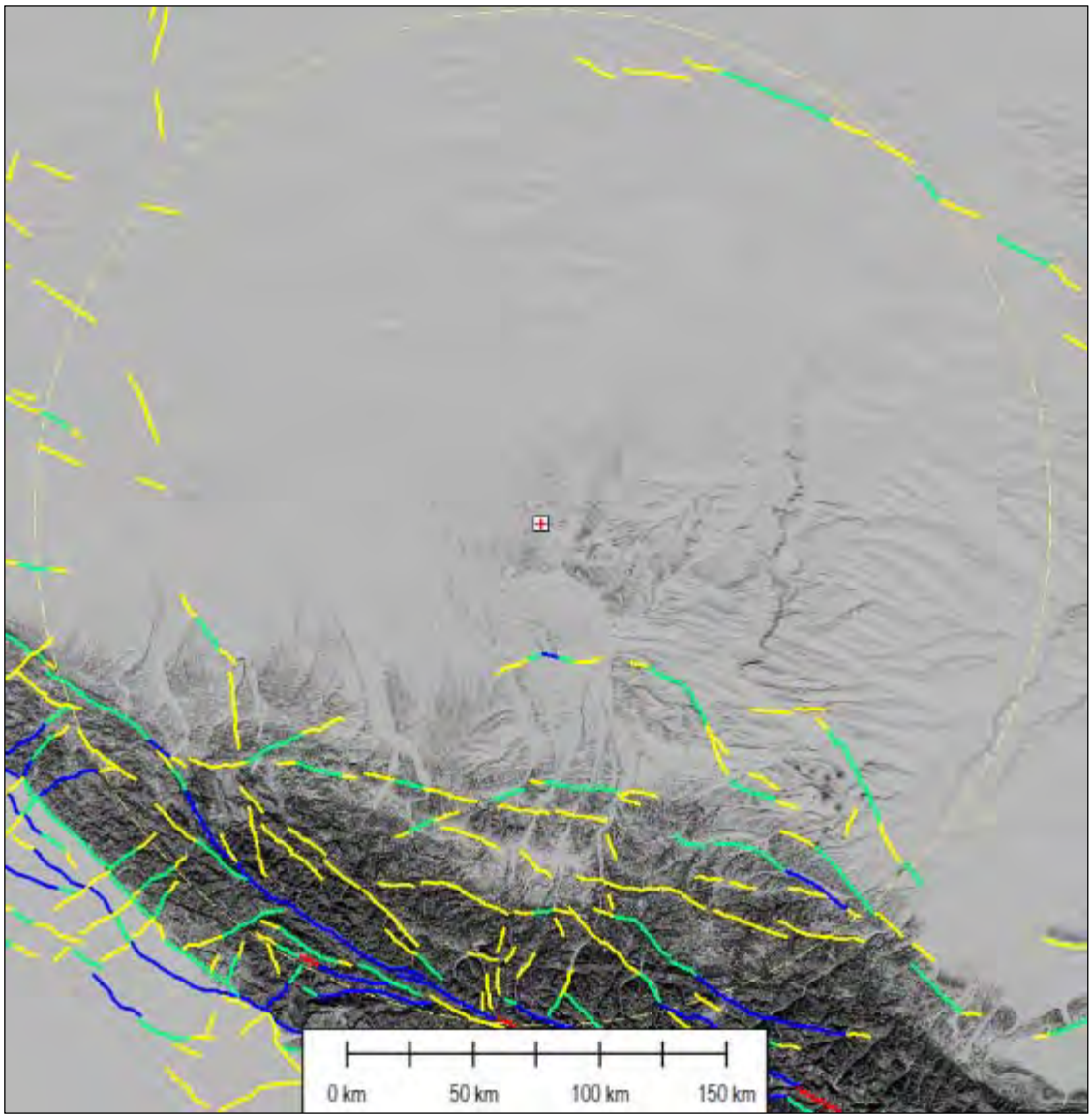


Рисунок 2.1 Активные разломы в окрестностях Егорлыкского гидроузла по данным ГИН РАН. Тонкой пунктирной линией обозначена граница территории радиусом 200 км от г/у. Красные линии – разломы с CONF=A; синие линии – разломы с CONF=B; зеленые линии – разломы с CONF=C; желтые линии – разломы с CONF=D

В ходе полевых работ, проводившихся сотрудниками ЦСГНЭО в 2012 г., при обследовании Армавир-Невинномысской зоны разломов, проходящей к юго-востоку от гидроузла на расстоянии от нее 70 км и более, вместо признаков смещения по предполагаемому разрыву на северных склонах поднятия были обнаружены обширные оползни. Следов выхода разрыва на дневную поверхность обнаружено не было.

Активные разломы, выделяемые с высокой степенью достоверности в зоне главного Кавказского хребта, удалены от площадки на значительное расстояние и связанные с ними землетрясения не представляют существенной опасности для плотины. Более подробно опишем лишь разрыв у с. Казьминское, поскольку он является ближайшим достоверно выделяемым активным тектоническим нарушением к плотине Егорлыкской ГЭС.

2.1 Молодой разрыв у селения Казьминское

На левобережье Кубани, в 45 км к югу от участка Сенгилеевской ГЭС у села. Казьминское находится обращенный на юг уступ высотой до 35-37 м, прослеженный на протяжении примерно 25 км и смещающий разновозрастные террасы Кубани. Уступ был выявлен при анализе рельефа, построенного по 90-м и 30-м ЦМР. Смещение террас свидетельствует о том, что уступ представляет собой поверхностное выражение молодого разрыва, наиболее отчетливо проявленного в рельефе во всем рассматриваемом регионе. Этот разрыв показан и на карте активных разломов, составленной под руководством В.Г. Трифонова.

В целом, рельеф этой части Предкавказья представляет собой очень пологую квесту, характеризующуюся незначительным (первые градусы) падением на север и сильно нарушенную густой эрозионной сетью. Характер рельефа отражен на профиле, показанном на Рисунок 2.2. Несмотря на то, что профиль построен с 10-кратным вертикальным искажением, на этом рисунке хорошо видно, что две крупные квестовые гряды, разделенные субширотным отрезком долины р. Кубань, имеют близкий наклон бронирующей поверхности. Красными линиями на профиле показаны уверенно выделяемые поверхности выравнивания. При этом различия в их высотном положении могут быть обусловлены как их разновозрастностью или приуроченностью к различным бронирующим горизонтам, так и тектоническими деформациями, и подвижками по активным разломам. Разрыв у с. Кузьминское отмечен стрелочкой.

Вышеупомянутая «подозрительная» форма рельефа включает, помимо отмеченного уступа, обращенного на юг, две хорошо выраженные антецедентные долины в ее поднятом северном крыле, практически лишенные водосборов, которые могли бы обеспечить столь интенсивное врезание (Рисунок 2.3). Западная долина дренирует поверхность наиболее

высокой террасы р. Кубань, а восточная практически продолжает фронтальный уступ этой террасы. В 90-х годах прошлого века при бурении глубоких (2,5 км) поисковых скважин на нефть вблизи рассматриваемого уступа были вскрыты термальные водопроявления, которые используются в бальнеологических целях.

На этом участке выделены последовательности ступенчатых поверхностей, предположительно одного возраста (на Рисунок 2.4 они показаны разным цветом и обозначены A, B, C, D, E, F, G; поверхность A соответствует наиболее высокой и, следовательно, древней террасе р. Кубань). Разница в относительной высоте крыльев уступа на пересечении с этими поверхностями составляет от 20 до 40 метров. Поскольку на плоскостях террас E, G и F уступ практически не выражен, можно предполагать, что движения по разрыву, приведшие к формированию субширотного уступа, происходили до формирования этих террасовых поверхностей. Здесь следует отметить, что имеющиеся в нашем распоряжении ЦМР с шагом 90 и 30 метров не позволяют выделять более мелкие формы рельефа.

При сравнении профилей, построенных вдоль уступа к северу и к югу от него (профили 1-1 и 2-2 на Рисунок 2.5, Рисунок 2.6) видно, что наибольшие высоты характерны для их частей, расположенных к западу от селения Казьминское, при этом в южном, опущенном крыле уступа поверхности террас A и B практически горизонтальны, а в северном, поднятом крыле, поверхность A’ слабо изогнута, вследствие чего высота субширотного уступа в пределах поверхности A изменяется от 45 до 30 м (см. Рисунок 2.6). Восточнее с. Казьминское субширотный уступ смещает поверхности террас B и C на 35-37 и 30 метров соответственно.

Более низкие террасы, обозначенные выше по течению реки, как E и G, возможно не смещены, но в поднятом крыле уступа появляются дополнительные террасовые уровни D и F, которые также могут отражать продолжавшиеся движения по разрыву. Наиболее низкие 1 и 2 террасы высотой, соответственно, 12 и 30 метров, не смещены.

Судя по характеру смещения поверхностей выравнивания и продольной деформации поднятого крыла, можно достаточно уверенно утверждать, что разрыв у с. Казьминское имеет взбросовую кинематику.



Рисунок 2.2 Поперечный профиль через уступ у с. Казьминское и долину р. Кубань (соотношение масштабов 1:20).

Суммарная вертикальная компонента смещения по разрыву оценивается в 10 метров, тогда как сам уступ на ЦМР SRTM имеет высоту в 30 метров. Разрыв был обследован при проведении полевых работ в 2012 г.

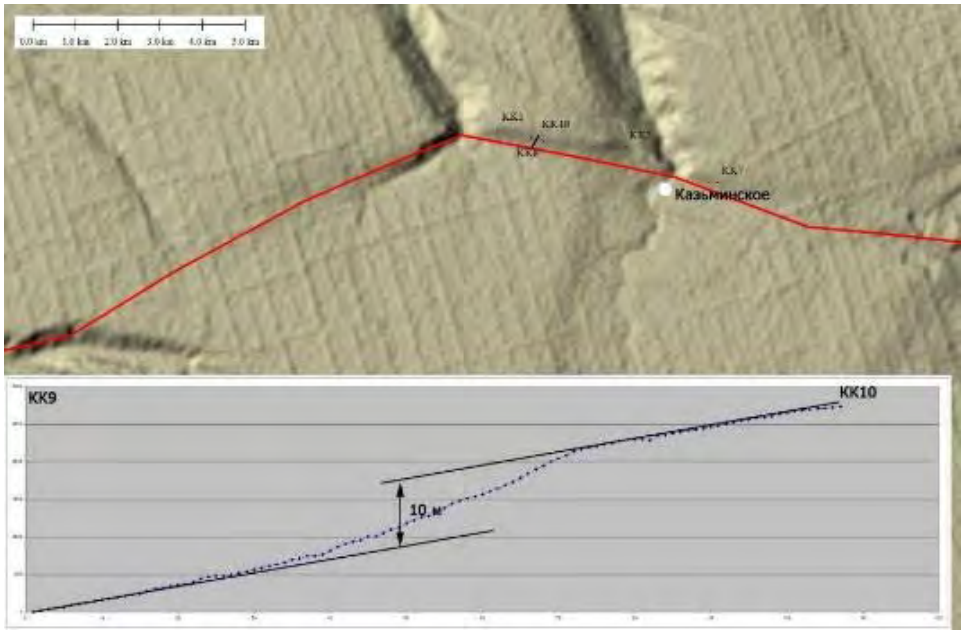


Рисунок 2.3 Полевые точки наблюдений и профиль через уступ разрыва в районе с. Казьминское

В 35 км к северу от описанного молодого разрыва, и в 20-26 км к юго-западу от Егорлыкского гидроузла, на правобережье р. Кубань находится гигантский Успенский оползень, площадь которого составляет ~ 31.3 км^2, а объем оценивается величиной около 2.8 км^3 (Рисунок 2.7) (Panek, et al., 2012), т.е. сопоставим с объемом Усойского завала на Памире. Следует отметить, что в настоящее время не установлено ни достоверных признаков, указывающих на сейсмогенный характер оползня, ни признаков, позволяющих исключить это предположение. В окрестностях выявлено еще несколько очень крупных древних оползней, что, в сочетании с явными признаками подвижек по активному разлому, может являться дополнительным косвенным признаком того, что в прошлом в районе все же происходили достаточно сильные землетрясения.

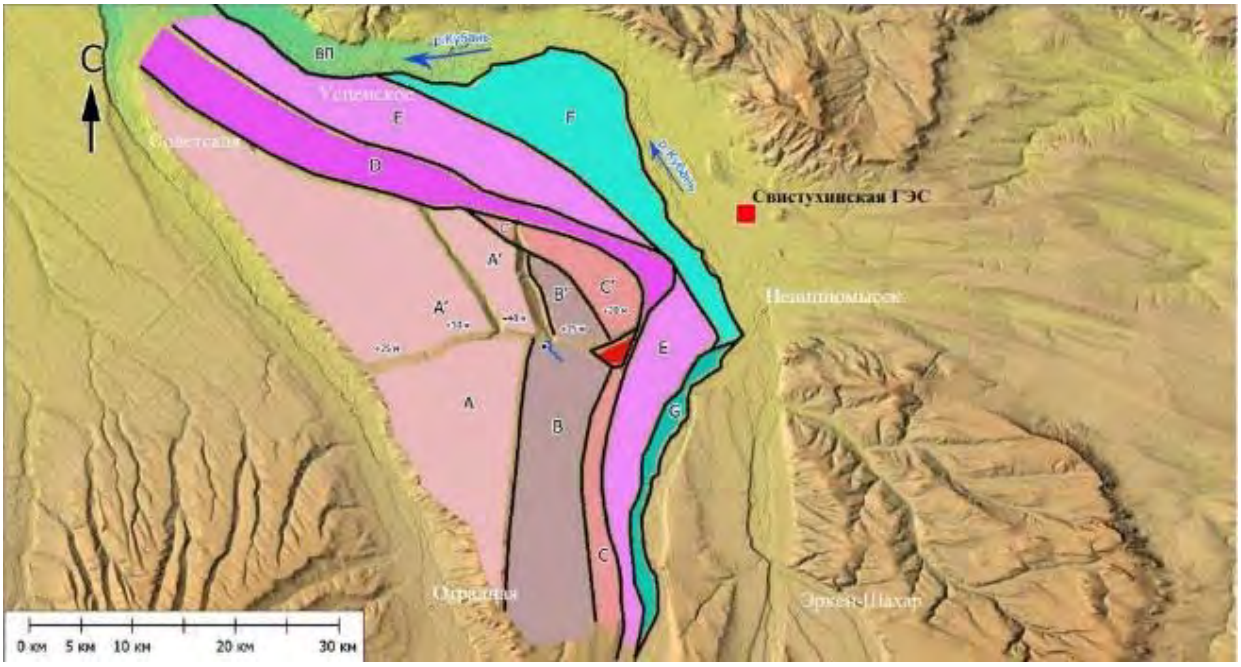


Рисунок 2.4 Схема террас на левом берегу р. Кубань западнее г. Невинномыск

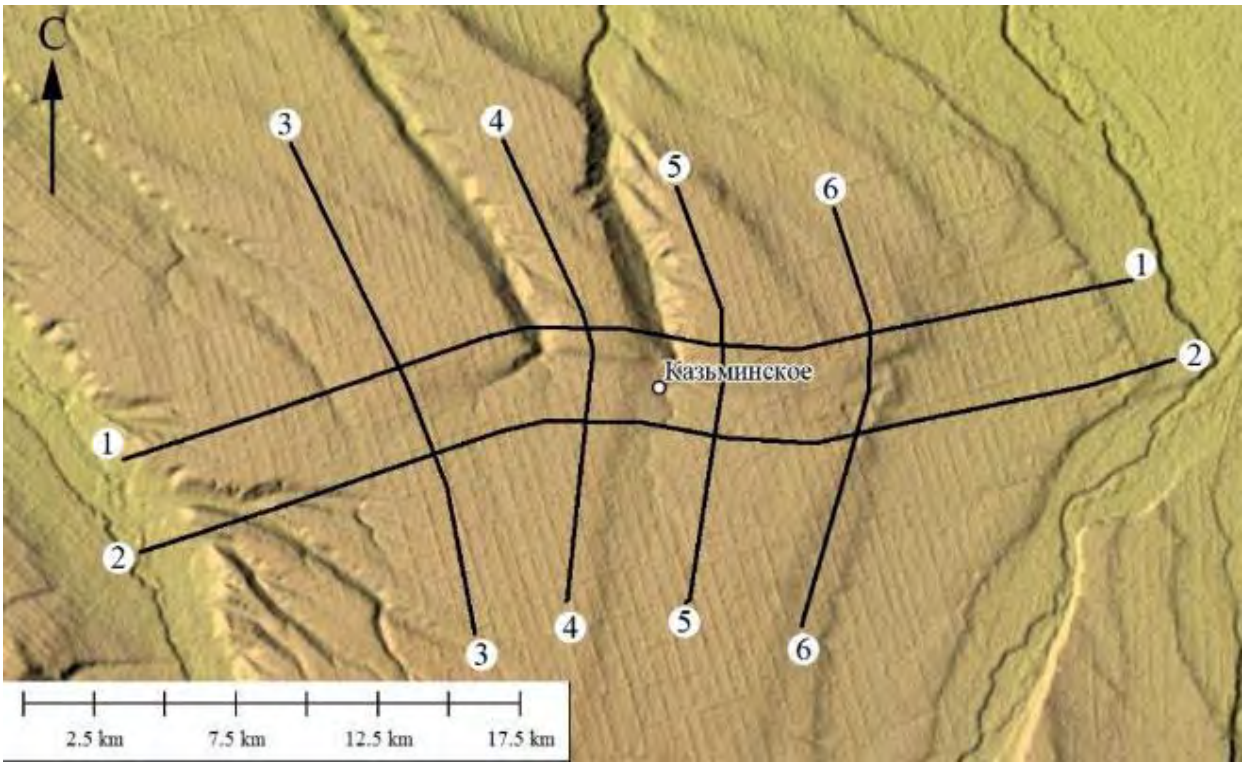


Рисунок 2.5 Схема расположения профилей вдоль и поперек уступа в районе с. Казинское. Профили 1 и 2 – параллельные уступу, 3-6 – перпендикулярны

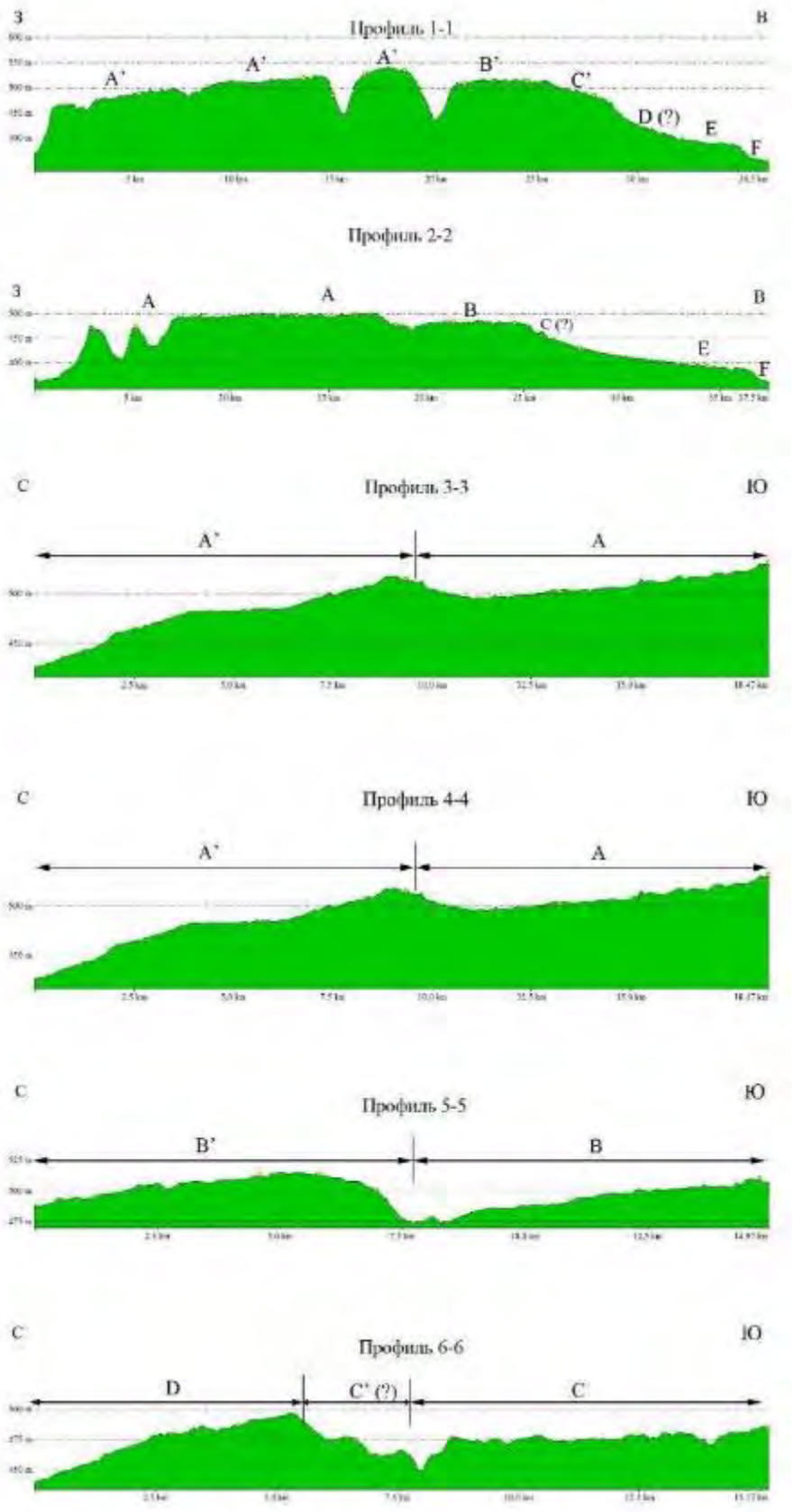


Рисунок 2.6 Профили через террасы р. Кубань в районе с. Казьминское. Соотношение вертикального и горизонтального масштаба 1:25. A, B, C, D, E, F - горизонтальные поверхности в висячем и лежачем крыльях разрыва

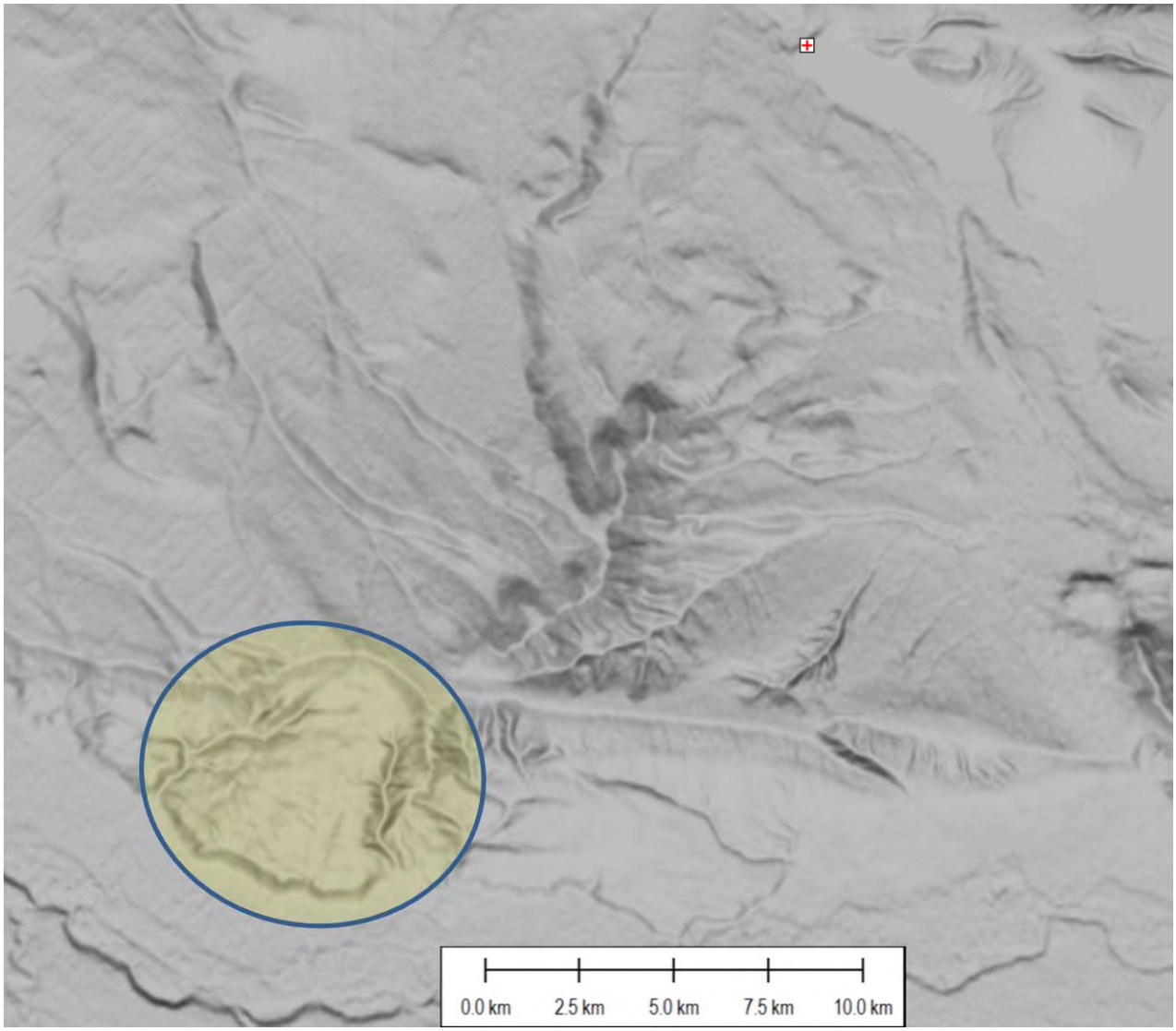


Рисунок 2.7 Положение Успенского оползня (оконтурен синей линией) относительно плотины Егорлыкского г/у (обозначен крестом на синем фоне)

3 Модели зон ВОЗ района исследований

3.1 Модель зон ВОЗ ОСР-97

Комплект карт ОСР-2015 является модификацией ОСР-97, с добавлением зон интенсивности сотрясений для полуострова Крым и экспертными корректировками сейсмической опасности для отдельных территорий (Якутия, Калининградская область). Комплект карт ОСР-2015 для района площадки объекта полностью соответствует ОСР-97. Соответственно, модель зон ВОЗ ОСР-97 (Рисунок 3.1) может быть использована, как одна из альтернативных моделей при вероятностном анализе сейсмической опасности района Егорлыкского гидроузла.

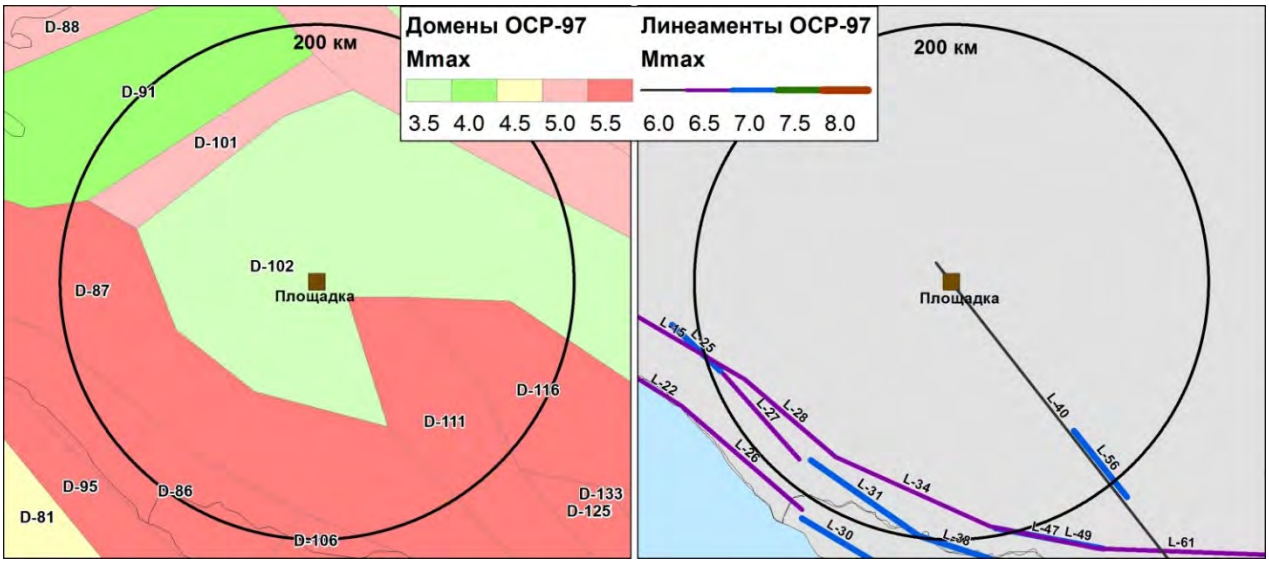


Рисунок 3.1 ЛДФ-модель зон ВОЗ ОСР-97

В Таблица 3.1 приведены параметры площадных структур (доменов) модели зон ВОЗ к карте ОСР-97, а в Таблица 3.2 – параметры линейных структур (линеаментов) этой модели

Таблица 3.1 Параметры доменных структур модели зон ВОЗ ОСР-97

Домен	M_{max}	Площадь, 1000 км^2	Глубины, км		Координаты WGS-84		Повторяемость в год, шт.	
			от	до	lat	lon	Mlh	Повтор
49	5	193.7	8	13	53.8 52.24 51.9 51.15 50.37 50.09 48.52 47.48 46.95 46.12 45.86 45.61 45.32 45.09 44.72 43.59 42.7 42.14 43.36 44.24 44.91 45.02 45.09 45.34 46.46 46.7 47.27 47.6 49.52 49.95 50.83 52.81	29.27 32.22 32.76 33.93 35.79 36.85 40.42 41.42 42.34 44.44 44.98 46.46 49.03 50.72 52.35 55.33 57.97 58.42 54.49 51.9 48.83 47 46.03 44.92 41.86 41.45 40.74 40.31 36.7 34.5 31.86 27.78	3.5 4 4.5 5	0.050037 0.009775 0.002455 0.000617
86	5.5	29.0	4	9	45.66 45.68 44.79 44.69 43.82 43.5 42.92 43.18 44.23 44.4 44.75 45.18 45.48	36.00 36.19 38.34 38.87 40.54 41.48 40.96 40.29 38.67 37.93 36.86 36.17 35.98	3.5 4 4.5 5 5.5	0.029310 0.015290 0.007977 0.004154 0.002165
87	5.5	47.4	7	12	46.00 45.82 45.53 45.61 45.43 44.74 44.33 44.11 42.72 43.50 43.82 44.69 44.79 45.68 45.66	36.20 37.07 38.68 39.25 39.75 40.19 40.98 42.29 44.14 41.48 40.54 38.87 38.34 36.19 36.00	3.5 4 4.5 5 5.5	0.235057 0.100502 0.042971 0.018373 0.007856
91	4	29.4	3	8	47.27 46.70 45.61 45.53 45.82 46.30	40.74 41.45 39.25 38.68 37.07 37.87	3.5 4	0.003608 0.001443
101	5	6.9	3.2	8.2	46.70 46.46 46.26	41.45 41.86 41.17	3.5 4	0.034640 0.013789

Домен	M_{max}	Площадь, 1000 км^2	Глубины, км		Координаты WGS-84		Повторяемость в год, шт.	
			от	до	lat	lon	Mlh	Повтор
					45.43 45.61	39.75 39.25	4.5 5	0.005489 0.002185
102	3.5	61.6	3.8	8.8	46.26 46.46 45.34 44.16 44.27 45.00 45.02 45.01 44.11 44.33 44.74 45.43	41.17 41.86 44.92 45.84 44.99 43.47 42.42 41.86 42.29 40.98 40.19 39.75	3.5	0.010098
106	5.5	47.8	7	12	42.92 43.50 42.72 42.59 42.43 42.36 41.88 41.33 41.09 40.68 40.54 40.51 40.52 41.94 42.29 42.71	40.96 41.48 44.14 44.98 45.68 46.00 47.01 48.18 48.56 48.87 48.90 48.59 48.08 45.10 44.11 41.54	3.5 4 4.5 5 5.5	0.098036 0.030192 0.009298 0.002863 0.000882
111	5.5	17.9	4	9	45.01 45.02 44.35 43.82 42.59 42.72 44.11	41.86 42.42 43.24 43.57 44.98 44.14 42.29	3.5 4 4.5 5 5.5	0.327957 0.154638 0.072915 0.034381 0.016211
116	5.5	23.3	5.4	10.4	45.02 45.00 44.27 44.16 43.41 43.63 43.64 43.70 43.70 43.82 44.35	42.42 43.47 44.99 45.84 46.68 45.19 45.14 44.41 44.39 43.57 43.24	3.5 4 4.5 5 5.5	0.086583 0.025967 0.007788 0.002336 0.000701

Таблица 3.2 Параметры линейных структур зон ВОЗ ОСР-97

Лин.	M_{max}	Длина, км	Глубина		Повторяемость в год, шт.			Координаты WGS-84			
			h_1	h_2	Mlh=7.0	Mlh=6.5	Mlh=6.0	lat_1	lon_1	lat_2	lon_2
15	6.5	310	4.7	1.97		0.005149	0.007189	45.59	36.04	44.37	39.57
25	7	52	4.9	2.49	0.000737			44.72	38.83	44.42	39.33
27	6.5	89	4	1.9		0.00147	0.002052	44.40	39.36	43.83	40.14
28	6.5	93	7	2.2		0.001539	0.002148	44.37	39.57	43.86	40.49
31	7	103	4	2.4	0.001472	0.001714	0.002392	43.83	40.25	43.33	41.32
34	6.5	132	7	2.2		0.002205	0.003078	43.86	40.49	43.41	42.00
38	7	263	7	2.7	0.003772	0.004392	0.006131	43.33	41.32	42.64	44.40
40	6	308	4	1.4			0.007096	45.24	41.40	43.09	43.83
47	6.5	85	7	2.2		0.001427	0.001993	43.41	42.00	43.27	43.03
49	7	86	7	2.7	0.001229			43.40	42.05	43.27	43.09
56	7	66	4	2.4	0.000928			44.09	42.79	43.63	43.31

Поскольку, как было отмечено выше, параметры графика повторяемости, заложенные в эту модель, существенно отличаются от наблюдаемых, ее вес в логическом дереве при проведении BACO принят равным 0.2.

3.2 Модель зон ВОЗ ОСР-2016

Исследования по актуализации нормативных карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97 выполнялись в рамках федеральной целевой программы (ФЦП) «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2013 годы», утвержденной Постановлением Правительства РФ № 365 и продленной затем по 2018 год.

В рамках работ по созданию макета карт ОСР-2016, под руководством В.И. Уломова специалистами ИФЗ РАН, ИМГРЭ, ИЗК СО РАН и других профильных институтов была разработана модель зон ВОЗ нового поколения (Пояснительная записка, 2016). На Рисунок 3.2 показан фрагмент модели зон ВОЗ ОСР-2016 для исследуемой территории для Крым-Кавказского региона. Из этого рисунка видно, что новая модель несколько отличается от модели ОСР-97 (см. Рисунок 3.1).

Для всех линеаментов общекавказского простирания и к северу от них (Большой Кавказ), принято падение на север под углом 45º. Линеаменты в пределах Большого Кавказа, ориентированные "поперек", приняты субвертикальными. Все линеаменты в пределах Малого Кавказа приняты падающими в южных румбах под углом 45º.

В качестве исследуемой территории принят участок, включающий 200 километровую зону вокруг площадки. Согласно зависимости "интенсивность-расстояние-магнитуда" для Северной Евразии, землетрясения с эпицентрами на данном участке полностью определяют сейсмическую опасность выше 5 баллов по шкале MSK 64 (сотрясение от события с M = 8.0 затухает до 5 баллов на расстоянии около 200 км). На Рисунок 3.2 показаны зоны ВОЗ ОСР-2016 попадающие в 200 км зону площадки.

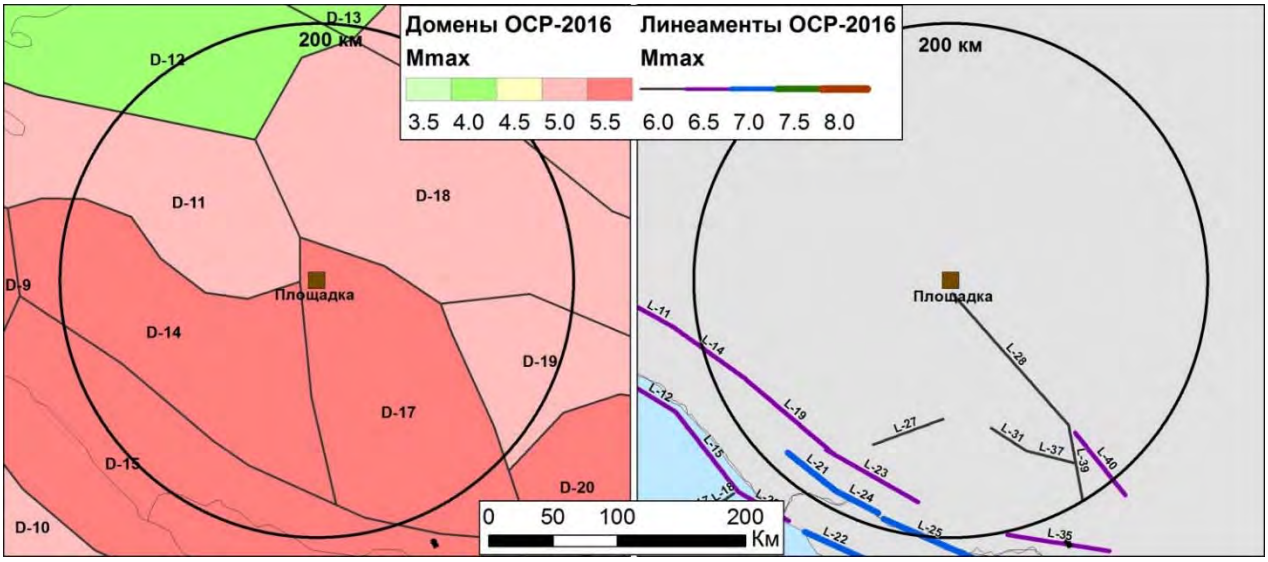


Рисунок 3.2 ЛДФ-модель зон ВОЗ ОСР-2016

В Таблица 3.3 приведены параметры площадных структур (доменов) модели зон ВОЗ. В Таблица 3.4 приведены параметры линейных структур (линеаментов) модели зон ВОЗ.

Таблица 3.3 Параметры доменных структур модели зон ВОЗ ОСР-2016

Домен	Mmax	Пл-дь, 1000 км2	Глубины, км		Координаты WGS-84		Пов-сть в год, шт.	
			от	до	lat	lon	Mlh	Повтор
11	5	37	3	7	46.32 46.08 45.41 45.10 44.97 45.00 45.22 45.50 45.61 45.59 45.51 45.63 45.71 45.79 46.00 46.64	38.68 40.90 41.38 41.39 40.88 40.46 40.00 39.69 39.21 38.78 38.46 37.68 36.66 36.19 36.20 36.97	3.5 4 4.5 5	0.057577 0.015909 0.00508 0.001592
12	4.5	42	3	7	47.36 46.80 46.66 46.08 46.18 46.32 46.64 47.87	40.17 41.85 41.34 40.90 40.03 38.68 36.97 37.73	3.5 4 4.5	0.065459 0.018087 0.005776
13	4	41	1	7	48.16 47.11 47.10 46.80 46.91 47.36 47.87 48.32 48.80 48.91 48.56 48.34	41.81 42.25 42.26 41.85 41.53 40.17 37.73 37.67 38.04 38.68 39.46 40.82	3.5 4	0.083705 0.026158

Домен	Mmax	Пл-дь, 1000 км2	Глубины, км		Координаты WGS-84		Пов-сть в год, шт.	
			от	до	lat	lon	Mlh	Повтор
14	5.5	27	3	17	45.10 44.29 43.54 43.80 43.96 44.47 44.90 45.51 45.59 45.61 45.50 45.22 45.00 44.97	41.39 41.54 41.81 40.95 40.60 39.67 38.64 38.46 38.78 39.21 39.69 40.00 40.46 40.88	3.5 4 4.5 5 5.5	0.120000 0.056911 0.015267 0.006667 0.002222
15	5.5	53	1	12	43.80 43.46 43.39 43.35 43.31 42.66 42.00 42.75 42.89 43.02 43.16 43.39 43.55 44.05 44.90 44.47 43.96	40.95 42.08 42.58 42.83 43.70 43.06 42.74 40.89 40.41 39.98 39.51 39.10 38.79 38.18 38.64 39.67 40.60	3.5 4 4.5 5 5.5	2.000000 0.518519 0.208333 0.051724 0.019048
18	5	51	3	7	45.62 44.99 44.99 44.99 44.43 44.31 44.31 44.37 45.04 44.97 45.22 45.41 46.08 46.66 46.80 46.27	44.48 46.60 46.60 46.60 46.30 46.24 46.24 45.85 43.66 42.79 42.23 41.38 40.90 41.34 41.85 43.33	3.5 4 4.5 5	0.079912 0.022081 0.007051 0.002209
19	5	16	3	7	44.31 44.17 43.95 44.04 44.28 44.34 44.21 43.80 44.11 44.76 44.97 45.04 44.37	46.24 46.23 46.22 46.06 45.20 44.55 44.00 43.47 43.32 42.90 42.79 43.66 45.85	3.5 4 4.5 5	0.025018 0.006913 0.002207 0.000692

Домен	Mmax	Пл-дь, 1000 км2	Глубины, км		Координаты WGS-84		Пов-сть в год, шт.	
			от	до	lat	lon	Mlh	Повтор
23	5	37	3	7	46.98 46.31 45.79 45.13 44.51 44.99 45.62 46.27 46.80 47.10 46.98 44.99 44.99 44.99	42.55 44.75 46.28 48.68 48.46 46.60 44.48 43.33 41.85 42.26 42.55 46.60 46.60 46.60	3.5 4 4.5 5	0.057749 0.015957 0.005096 0.001597
17	5.5	26	3	13.5	44.97 44.76 44.11 43.31 43.35 43.39 43.46 43.54 44.29 45.10 45.41 45.22	42.79 42.90 43.32 43.70 42.83 42.58 42.08 41.81 41.54 41.39 41.38 42.23	3.5 4 4.5 5 5.5	0.434783 0.159292 0.069364 0.020000 0.006667

Таблица 3.4 Параметры линейных структур модели зон ВОЗ ОСР-2016

Лин.	M_{max}	Длина, км	Глубина		Повторяемость в год, шт.			Координаты WGS-84			
			h_1	h_2	Mlh=7.0	Mlh=6.5	Mlh=6.0	lat_1	lon_1	lat_2	lon_2
14	6.5	69	2	15		0.000946	0.001964	44.70	38.84	44.37	39.57
19	6.5	93	2	15		0.00128	0.00266	44.37	39.57	43.86	40.49
21	7	48	2	15	0.000304	0.000664	0.00138	43.86	40.03	43.61	40.51
23	6.5	83	2	15		0.001139	0.002365	43.90	40.40	43.55	41.31
24	7	37	2	15	0.000234	0.00051	0.001059	43.61	40.51	43.47	40.93
25	7	104	2	15	0.000654	0.001428	0.002966	43.43	40.98	43.08	42.17
27	6	57	5	15			0.001649	44.14	41.52	43.94	40.86
28	6	137	5	15			0.003906	45.02	41.58	44.12	42.75
31	6	33	5	15			0.000936	44.09	41.99	43.93	42.34
37	6	38	5	15			0.001085	43.93	42.34	43.85	42.80
39	6	59	5	15			0.001687	44.12	42.75	43.60	42.89
40	6.5	62	5	15		0.00086	0.001787	44.06	42.81	43.63	43.31

Поскольку рассмотренная модель учитывала результаты сейсмотектонических и сейсмологических исследований, выполненных в последние годы, при проведении ВАСО ей присвоен вес 0.3.

3.3 Региональная модель зон ВОЗ на основе карты активных разломов ГИН РАН

3.3.1 Линеаменты модели зон ВОЗ

Плотина Егорлыкского гидроузла располагается в Предкавказье, в северо-западной части Ставропольского поднятия. Кровля меловых отложений на участке плотины находится

на глубине около 2 км ниже дневной поверхности. Непосредственно на участке плотины залегают глины ритцевской свиты майкопа (Рисунок 3.3).

Отложения слабо дислоцированы и смяты в пологие складки. На карте активных разломов ГИН РАН (Бачманов и др. 2017) ближайшие из них показаны примерно в 50 км к югу от площадки (см. Рисунок 2.1). На геологической карте м-ба 1:1000 000 (см. Рисунок 3.3) в окрестностях гидроузла показаны разломы, предположительно выделяемые в фундаменте, но достоверность их выделения крайне мала и, тем более, нет основания рассматривать их в качестве активных.

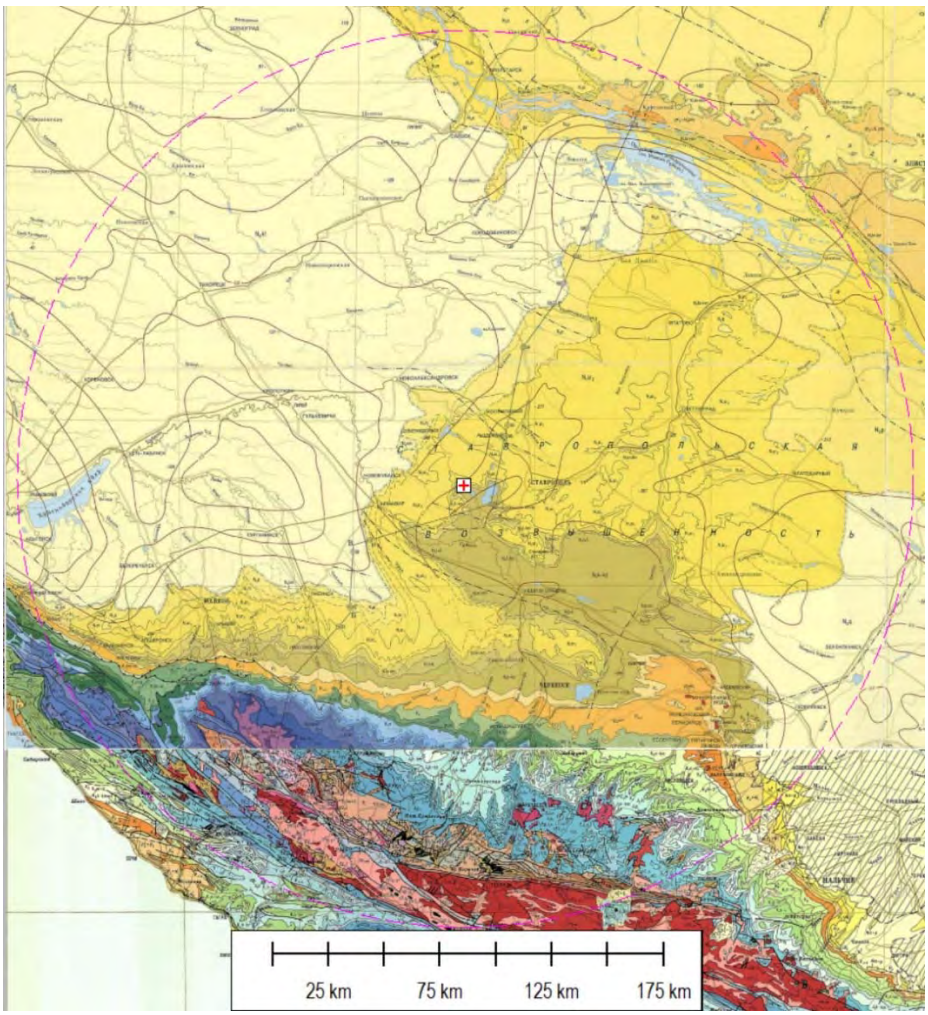


Рисунок 3.3 Фрагмент Государственной геологической карты Российской Федерации м-ба 1:1000 000 (листы K-37-38, L-37-38). Красным крестом обозначено положение участка Егорлыкского гидроузла. Малиновым пунктиром обозначена территория радиусом 200 км

Нарушения, показанные на карте активных разломов, как отдельные, так и группирующиеся в протяженные зоны, рассматривались, как линейные сейсмогенерирующие структуры.

Прежде чем перейти к описанию альтернативных моделей зон ВОЗ, остановимся на определении размеров территории, подлежащей изучению в рамках ВАСО. При этом мы исходили из того, что необходимо учитывать те сейсмогенерирующие структуры, с которыми

могут быть связаны землетрясения, представляющие потенциальную опасность для плотины Егорлыкского г/у т.е. такие события, интенсивность которых на площадке может составить 7 и более баллов макросейсмической шкалы (MSK-64 или ШСИ). Как отмечено выше, максимальные магнитуды землетрясений, ожидаемые в пределах Кавказского региона (в границах, принятых для модели карты ОСР-2016) не превышают 7.5±0.2. Даже если допустить, как предполагал А.А. Никонов, что к восточной части зоны Главного Кавказского надвига, проходящего вдоль южного подножия Большого Кавказа, могут быть приурочены землетрясения с магнитудой до 8.0, то, согласно уравнению Блейка-Шебалина $I_{\Delta} = 1.5 \times M - 3.5 \times \mathrm{Log}(\Delta^2+H^2)^{0.5}+3.0$, где I_{Δ} – интенсивность сотрясений на расстоянии Δ от эпицентра (очага) землетрясения, M – магнитуда землетрясения, Δ – эпицентральное расстояние (или минимальное расстояние от сейсмогенерирующего разлома), H – глубина гипоцентра, при землетрясениях такой магнитуды сотрясения интенсивностью ≥7 баллов возможны на удалении примерно до 200 км от источника сейсмических колебаний. Эта территория и рассматривалась в дальнейшем при анализе моделей сейсмогенерирующих зон.

Основное отличие предлагаемого подхода от подхода, реализованного в моделях зон ВОЗ к картам ОСР-97 и 2016, состоит в том, что мы оцениваем M_{max} для каждой выделенной зоны ВОЗ с применением методики логического дерева, учитывающей высокую степень неопределенности при установлении этого параметра. Для каждой зоны допускается несколько вариантов объединения или, наоборот, сегментации образующих ее активных разломов и, соответственно, несколько возможных значений Ммах.

Основные критерии, на основе которых происходило разделение или объединение сегментов активных разломов – достоверность их выделения ("CONF") и преобладающий кинематический тип, описываемый параметром SNS1 (главная компонента движения). Как уже отмечалось, в работе (Бачманов и др., 2017) все разломы, включенные в базу данных, разделены на 4 категории по степени достоверности их выделения: CONF = A, B, C, D (Рисунок 3.4).

К категории А отнесены разломы с несколькими независимыми хорошо изученными явными признаками активности: установленными в поле или четко выраженными на детальных дистанционных материалах деформациями молодых форм рельефа и датированным смещениями поздне-плейстоцен-голоценовых отложений, а также произошедшими в зоне разлома сильными историческими или палеоземлетрясениями.

Включение объекта в категорию В требует проявления каких-либо из указанных выше признаков активности, однако допускается их меньшая выраженность. В частности, могут быть достаточными признаки молодых смещений на дистанционных материалах. К такой категории отнесен и описанный выше разлом у с. Кузьминское.

В категорию C включены разломы, у которых присутствует хотя бы один из перечисленных выше признаков активности, но все они выражены нечетко, проявлены не вполне убедительно, определены неточно или могут иметь различные интерпретации, тогда как плиоцен-четвертичные смещения по разлому несомненны.

К категории D отнесены объекты с проявлениями плиоцен-четвертичных движений, по которым достоверные признаки молодых смещений пока не найдены, но косвенные признаки дают основание полагать, что следы такой активности могут быть обнаружены при более детальном целенаправленном изучении. Учитывая низкую обоснованность отнесения таких сегментов разрывов к категории активных, они объединялись в линейные зоны ВОЗ только в тех случаях, если чередовались с сегментами с более высокой достоверностью (параметр "CONF" = A, B или C).

Второй важнейший параметр, использованный для классификации активных разломов в этой модели – преобладающий кинематический тип. В зависимости от этого параметра, при расчете возможного значения максимальной магнитуды, использовались соотношения из работы (Wells, Coppersmith, 1994) для соответствующего кинематического типа подвижек в очаге. Если кинематический тип разрыва в базе данных не определен, использовались средние соотношения для всей совокупности данных из этой же работы.

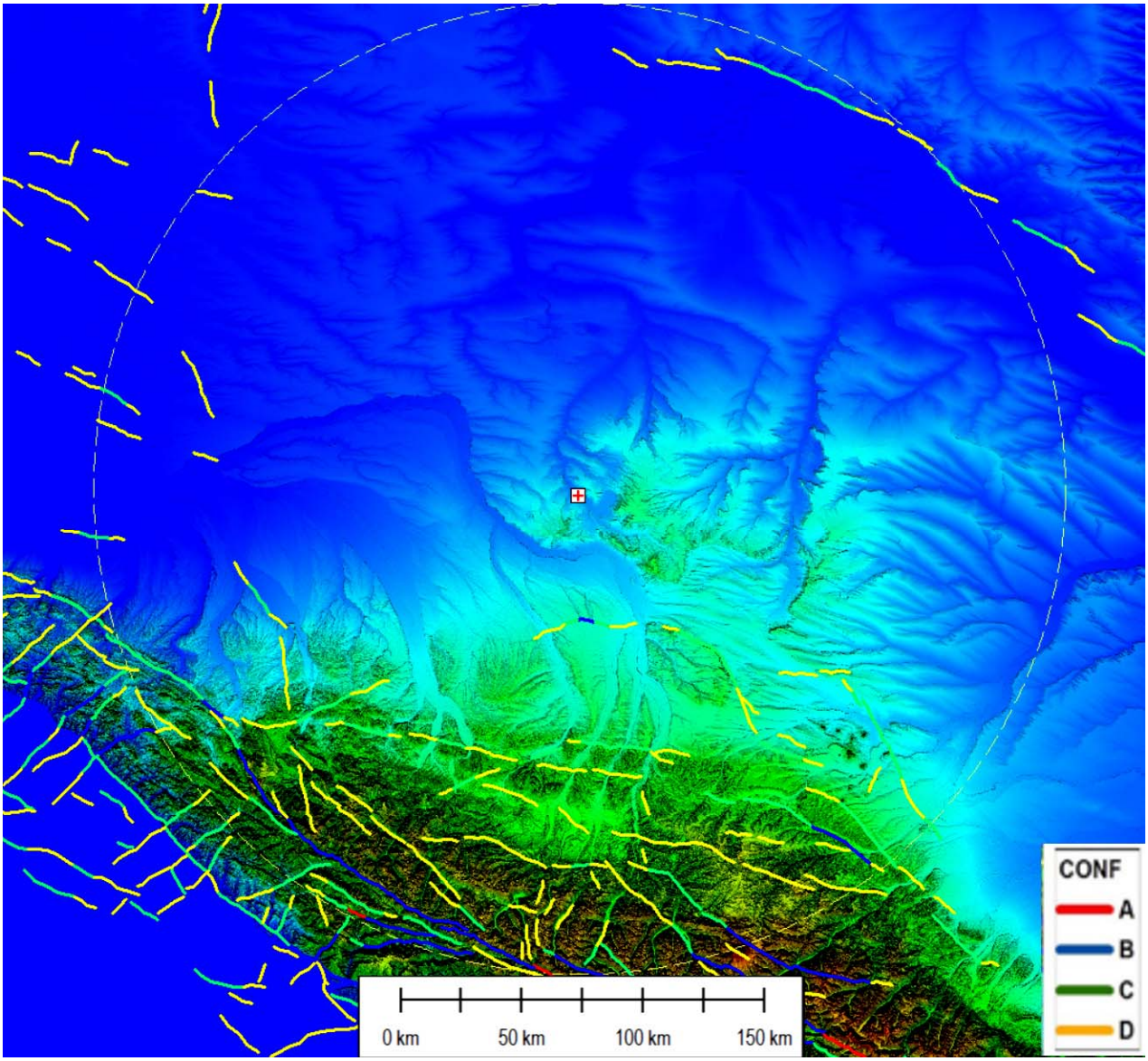


Рисунок 3.4 Фрагмент карты активных разломов (http://neotec.ginras.ru/database.html). Разломы разделены по параметру "CONF" – ранг достоверности оценки нарушения как активной структуры. Обозначено положение участка плотины Егорлыского г/у

В результате такого объединения была выделены двадцать три линейных зоны ВОЗ, которые показаны на Рисунок 3.5 и перечислены в Таблица 3.5. Остальные параметры этих зон приведены в Приложении 3 (Логическое дерево).

Возможное значение M_{max} при единовременном "срабатывании" каждой выделенной зоны ВОЗ на всем ее протяжении оценивалась на основании известных соотношений между длиной разрыва и магнитудой. Поскольку, за исключением системы трещин и разрывов протяженностью около 40 км в эпицентральной зоне Рачинского землетрясения, описанной Т.П. Белоусовым (2009), мнение которого о сейсмотектонической природе этих нарушений оспаривается другими исследователями, достоверных сейсмотектонических дислокаций, отражающих выход очагового разрыва исторических или землетрясений на поверхность земли в регионе не известно, а разрыв у селения Казьминское, несмотря на явные признаки

четвертичной активности, все же прослеживается недостаточно надежно, мы использовали соотношения между протяженностью очаговых разрывов и моментной магнитудой из работы (Wells, Copprsmith, 1994) (Рисунок 3.6).

Помимо такой, заведомо консервативной оценки M_{max} (Рисунок 3.7), определялись возможные магнитуды землетрясения при единовременном срабатывании половины и ¼ выделенной зоны. При этом учитывалось, что полученное значение M_{max} не может быть меньше магнитуды землетрясения, реально произошедшего в этой зоне (или вблизи нее). Учитывая, что возможность срабатывания выделенных зон ВОЗ на всей их протяженности является весьма консервативным вариантом, а также то, что ни к одной из них не приурочены достоверно выделяемые следы такого вспарывания на поверхности земли, как это наблюдается во многих других сейсмоактивных регионах земли, для зон ВОЗ, полученных объединением сегментов активных разломов с параметром CONF=C,D, вероятность возникновения землетрясений с M≥7.0 принята равной 0.

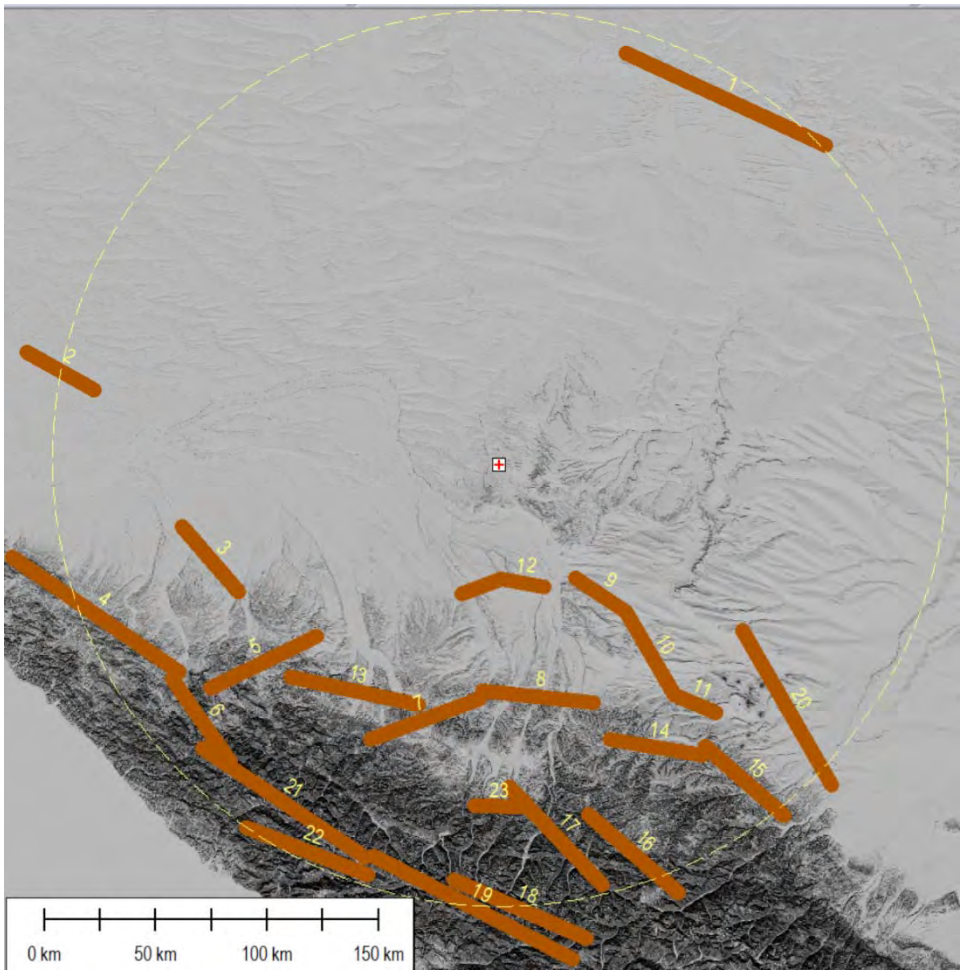


Рисунок 3.5 Линейные зоны ВОЗ в радиусе 200 км от участка Егорлыкского гидроузла

Полученные значения разделялись на 4 расчетные группы по тому же принципу, как это было сделано в моделях зон ВОЗ к картам ОСР – с шагом в 0.5 единицы магнитуды ±0.2: 7.5±0.2, 7.0±0.2, 6.5±0.2, 6.0±0.2. В некоторых случаях, когда при таком группировании с

округлением две строки в логическом дереве попадали в одну группу, рассматривались варианты с разделением всей выделенной зоны на 3 или 5 сегментов, с тем чтобы можно было экспертным путем оценить вероятность реализации сценария с разным расчетным значением M_{max}. Эти значения соответствуют моментным магнитудам M_w.

Таблица 3.5 Перечень линейных зон ВОЗ, выделенных путем объединения сегментов активных разломов, включенных в базу данных ГИН РАН (см. Рисунок 3.5)

Лин.	Координаты				Дл., км
	lat1	lon1	lat2	lon2	
1	46.69	42.32	46.34	43.45	96
2	45.52	38.91	45.37	39.30	34
3	44.82	39.80	44.56	40.12	39
4	44.70	38.83	44.23	39.78	92
5	44.16	39.96	44.37	40.56	54
6	44.20	39.74	43.86	40.07	46
7	43.95	40.87	44.12	41.49	53
8	44.15	41.51	44.11	42.13	51
9	44.61	42.04	44.48	42.32	27
10	44.48	42.32	44.14	42.59	43
11	44.14	42.59	44.07	42.83	21
12	44.55	41.39	44.57	41.85	39

Лин.	Координаты				Дл., км
	lat1	lon1	lat2	lon2	
13	44.21	40.41	44.10	41.14	59
14	43.96	42.23	43.89	42.75	43
15	43.93	42.77	43.64	43.22	48
16	43.65	42.11	43.32	42.62	55
17	43.76	41.66	43.36	42.19	62
18	43.38	41.34	43.14	42.10	67
19	43.48	40.89	43.05	42.02	103
20	44.40	42.99	43.77	43.49	80
21	43.47	40.84	43.92	39.91	89
22	43.59	40.16	43.40	40.85	60
23	43.68	41.46	43.68	41.73	22

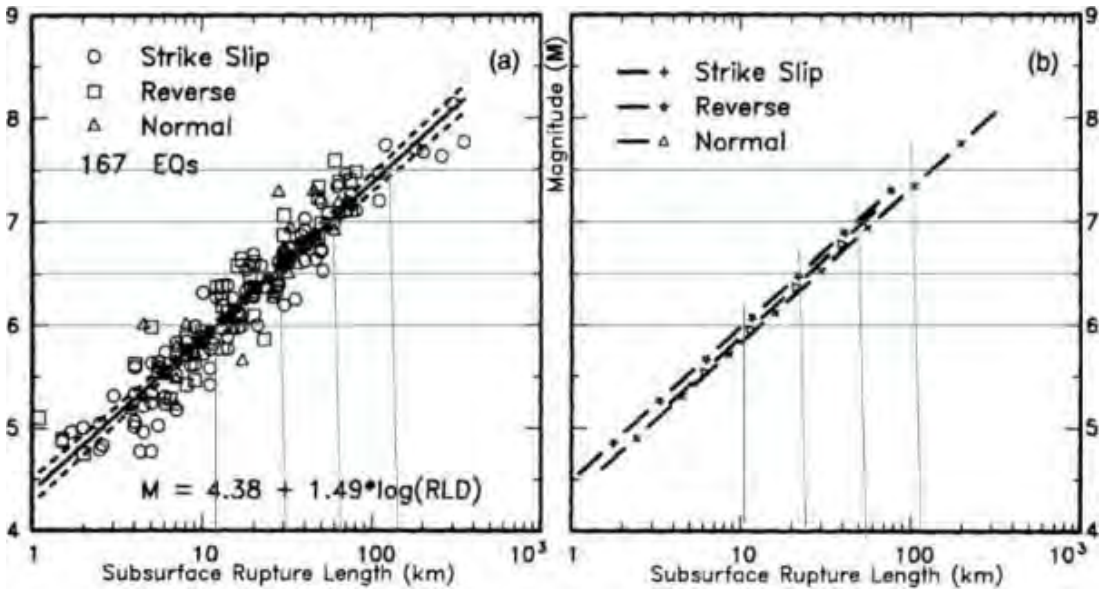


Рисунок 3.6 Соотношения между протяженностью очагового разрыва и моментной магнитудой землетрясения из работы (Wells, Copprsmith, 1994). Слева – среднее для всей совокупности данных (167 событий), справа, в зависимости от кинематического типа

Еще один важный параметр, учитываемый и при оценке возможного значения M_{max}, и при оценке повторяемости событий, связанных с рассматриваемой зоной ВОЗ – средняя скорость перемещения крыльев активных разломов – RATE (slip rate). В работе (Бачманов и др., 2017) значения атрибута RATE разделены на три градации: <1 мм/год, 1–5 мм/год и >5 мм/год, которые обозначены индексами 3, 2 и 1, соответственно.

Этот параметр позволяет оценить величину возможного накопленного смещения за нормативный период повторяемости (500, 1000 и 5000 лет). Если предположить, что вся эта деформация реализуется в форме периодических сейсмогенных подвижек, мы можем, пользуясь различными соотношениями между величиной подвижки по разрыву с одной стороны и протяженностью поверхностного разрыва и магнитудой землетрясения с другой (Wells, Coppersmith, 1994; Стром, 1998; Чипизубов, 1998; Лунина, 2001), оценить реалистичность оценок Ммах, полученных на основе соотношений между длиной разлома и магнитудой.

Здесь надо отметить, что соотношение между протяженностью поверхностных разрывов (для которых имеется достаточно представительная статистика, приведенная в вышеупомянутых публикациях) и протяженностью очаговых разрывов, установленное в работе (Wells, Coppersmith, 1994) (Рисунок 3.7), позволяет использовать оба параметра для достаточно грубых оценок M_{max}, которые мы традиционно категорируем с шагом в 0.5 единицы магнитуды.

Еще одно допущение – одновременное использование соотношений между параметрами разрывов и моментной магнитудой M_w из работы (Wells, Coppersmith, 1994) и параметрами разрывов м магнитудой по поверхностным волнам M_s из работы (Стром, 1998). Допустимость такой подмены следует из соотношений между значения Mw и Ms в диапазоне магнитуд 6.0 – 7.5, характерном для исследуемого района, которые, в среднем, достаточно близки (Рисунок 3.8).

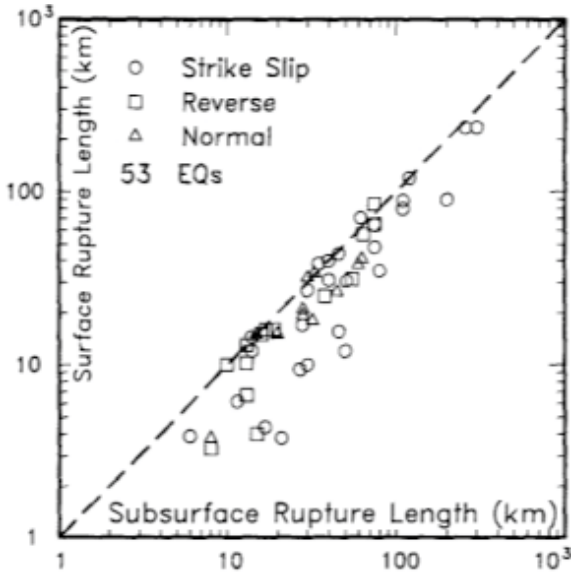


Рисунок 3.7 Соотношение протяженности очаговых разрывов (Subsurface Rupture Length) и поверхностных разрывов (Surface Rupture Length) (Wells, Coppersmith, 1994)

Необходимо подчеркнуть, что для подавляющего большинства разломов на изученной территории достоверные данные о средних скоростях смещения отсутствуют и

параметр RATE в базе данных ГИН РАН скорее оценочный, нежели количественный. При этом значения средних скоростей, принятые в базе данных, на наш взгляд, очень велики. Так, средняя скорость смещений 1 мм/год (минимальное значение для RATE 2) соответствует смещению в 1 м раз в 1000 лет и 5 м раз в 5000 лет, что, в предположении, что эти смещения реализуются в виде импульсных сейсмогенных подвижек, соответствует, по данным из работы (Wells, Coppersmith, 1994), землетрясениям с магнитудами Mw ~6.5-6.8 раз в 1000 лет и ~6.8-7.3 раз в 5000 лет, а по данным из работы (Стром, 1998) – с магнитудами Ms ~6.7-6.9 раз в 1000 лет и ~7.4-7.6 раз в 5000 лет в каждой из рассматриваемых зон ВОЗ. При RATE 1 (минимальная средняя скорость равна 5 мм/год) накопленное смещение за 5000 лет составит 25 метров, что не наблюдалось ни при одном из известных землетрясений, по крайней мере на суше (Стром, 1998).

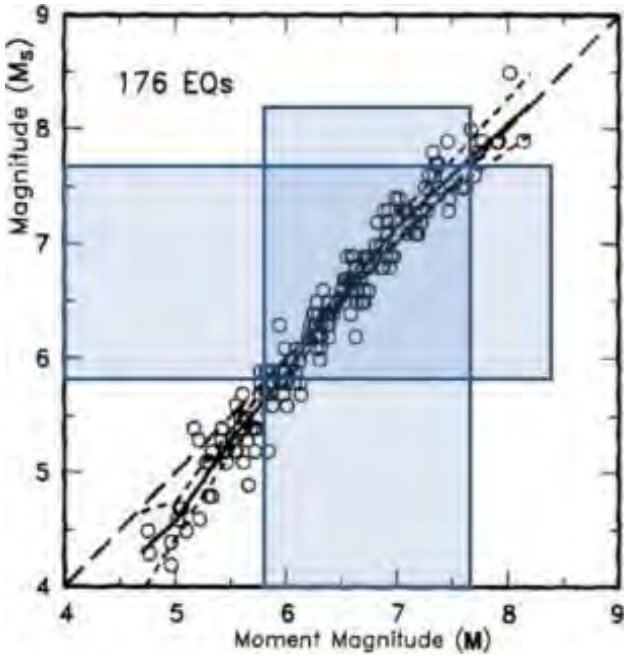


Рисунок 3.8 Соотношение между моментной магнитудой (M) и магнитудой по поверхностным волнам (Ms) из работы (Wells, Coppersmith, 1994). Обозначен рассматриваемый диапазон магнитуд 6±0.2 – 7.5±0.2

Надо также учитывать, что упомянутые выше значения магнитуд получены на основании статистически наиболее представительных соотношений, связывающих магнитуду с **максимальным смещением** по поверхностному разрыву (D_{max}), а такие смещения, как показано в работе (Стром, 1998) характерны, в среднем, менее чем для 5% протяженности разрыва. Использование соотношений между магнитудой и **средневзвешенной** величиной подвижки (D_{av}), которая, в среднем, меньше максимальной примерно в 2.8 раза, и которая более соответствует понятию "slip rate", характеризующему разлом в целом, дает еще более высокие значения магнитуд для накопленного смещения (Рисунок 3.9). В тоже время

статистическая представительность этих соотношений намного ниже, чем соотношений, полученных для D_{max}.

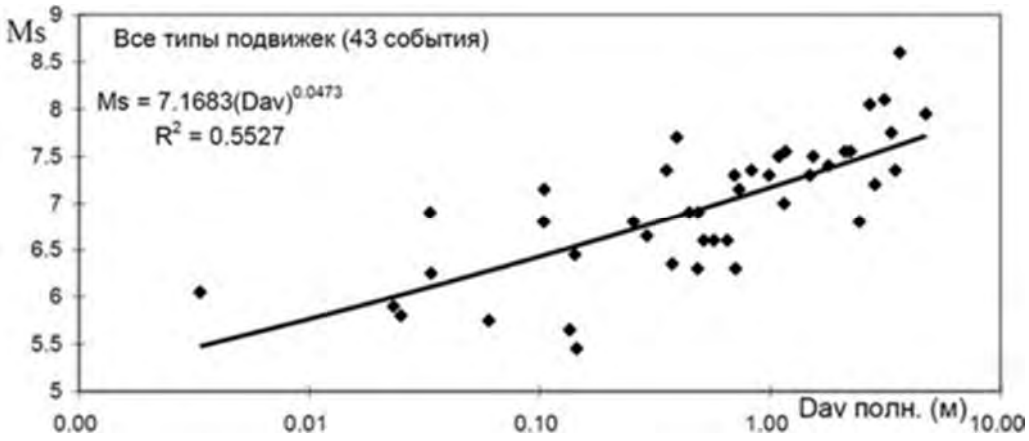


Рисунок 3.9 Соотношение между магнитудой Ms и средним полным смещением (Стром, 1998)

С учетом всех этих обстоятельств для последующих ветвей логического дерева было принято компромиссное решение. Во-первых, были приняты более реалистичные пониженные значения средних скоростей, на основе которых определялись смещения, накопленные за нормативные периоды повторяемости в 500, 1000 и 5000 лет (Таблица 3.6). При этом оценка реалистичности магнитуды, соответствующей таким смещениям (допустима она или нет), производилась по графику, связывающим магнитуду M_s с максимальными смещениями (Wells, Coppersmith, 1994, Стром, 1998) (Рисунок 3.10).

Таблица 3.6 Принятые расчетные значения средних скоростей перемещения крыльев разломов в зависимости от параметра RATE для выделенных зон ВОЗ и накопленное смещение

RATE	Расчетное значение	Накопленное смещение (м) для периодов повторяемости:		
		500	1000	5000
1	5 мм/год	2.5	5	25*
1, 2	3 мм/год	1.5	3	15*
2	1 мм/год	0.5	1	5
2, 3	0.5 мм/год	0.25	0.5	2.5
3	0.1 мм/год	0.05	0.1	0.5

*полученные значения выходят за огибающую на графиках, связывающих максимальную единовременную подвижку с магнитудой (Стром, 1998) и, следовательно, нереалистичны

На Рисунок 3.10 показаны допустимые диапазоны магнитуд для накопленных смещений при разных значениях параметра RATE: 1 – красные линии; 1, 2 – коричневые линии; 2 – фиолетовые линии; 2, 3 – зеленые линии; 3 – голубые линии; желтым фоном выделен диапазон магнитуд (M>7,5+0.2) который для данного региона не рассматривается.

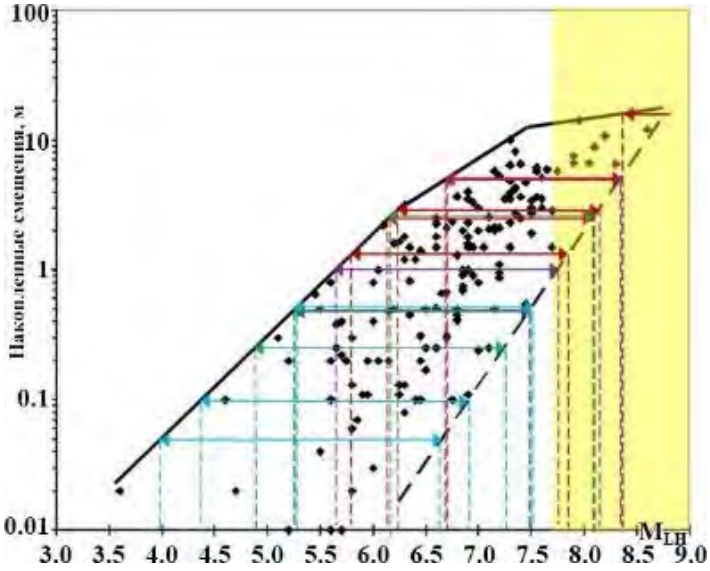


Рисунок 3.10 Соотношение максимальных смещений и магнитуд землетрясений (155 событий) (Стром, 1998).

Таким образом, если, к примеру, средняя скорость смещений относится к категории RATE 3, то смещение, накопленное за 500 лет, может достигать 0.05 м, что возможно при магнитуде от 4 до ~6.7 (диапазон 6.5±0.2). Смещение, накопленное за 1000 лет, составляет 0.1 м, что возможно при магнитуде до 6.9 (диапазон 7.0±0.2). Соответственно, вне зависимости от протяженности конкретного сейсмолинеамента с такой категорией параметра RATE, землетрясение с магнитудой в диапазоне 7.5±0.2 для таких периодов повторяемости в зоне этого линеамента невозможна. Землетрясение с такой магнитудой возможно только, если учитывать события со средним периодом повторяемости в 5000 лет. При этом учитывались значения M_{max}, рассчитанные по длине зоны ВОЗ или ее фрагмента до их округления и отнесения к определенной категории M_{max}.

Как и в любой реализации методики BACO, наиболее субъективным, основанном исключительно на экспертной оценке, является назначение веса того или иного варианта в каждой ветви логического дерева. В данной модели, при назначении весов для магнитуд, оцененных по протяженности зоны ВОЗ или ее частей, мы учитывали как достоверность выделения соответствующих активных разломов, так и положение соответствующей зоны в структуре горного сооружения и возможную глубину заложения того или иного разлома.

3.3.2 Домены модели зон ВОЗ

Сейсмодомены – это участки земной коры, для которых предполагается, что в их пределах очаги землетрясений малых и средних магнитуд (M от 3.5±0.2 до 5.5±0.2) распределены случайным образом. Снижать пороговый уровень магнитуд землетрясений, относимых к сейсмолинеаментам, нецелесообразно, так как линейные размеры очагов таких землетрясений не превышают первых километров (см. Рисунок 3.6) и существующий на

сегодня уровень изученности глубинного строения земной коры не позволяют сколько-нибудь уверенно и обоснованно выделять неоднородности в земной коре, к которым могут быть приурочены очаги столь незначительных размеров.

В то же время, необходимо отметить, что выделение и параметризация сейсмодоменов является наименее разработанной частью методологии сейсмического районирования. Если связь очагов крупных (M≥6.0±0.2) землетрясений с активными разломами установлена на огромном числе примеров и согласуется с теоретическими представлениями об очагах землетрясений (Костров, 1975; Sholtz, 1990), то общепринятых представлений об особенностях строения и развития земной коры, обуславливающих генерацию "доменных" землетрясений (т.н. "рассеянная сейсмичность") и влияющих на их величину (магнитуду) и повторяемость, на сегодняшний день просто нет. Различные исследователи оперируют разным набором данных, перечень которых в значительной мере определяется не только и даже не столько физическими моделями, связывающими те или иные параметры с сейсмичностью, сколько наличием и доступностью данных (Рейснер, Иогансон, 1993; Грачев, 2000). Различия в подходах и в использованных данных привело, в частности, к существенным различиям доменных моделей к картам ОСР-97 и 2016 (см. Таблица 3.1, а также Рисунок 3.1 и Рисунок 3.2).

Очевидно, что при выделении сейсмодоменов – т.е. блоков, в достаточной степени однородных именно в сейсмическом отношении, на первый план выходит распределение в пределах территории слабых и умеренных (M≤5.5±0.2) землетрясений. Основная сложность при выделении сейсмодоменов по комплексу признаков состоит в том, что геологическое строение, рельеф, в значительной степени являющийся результатом новейших тектонических движений, по-видимому, геофизические поля – все эти особенности отражают результат процессов, развивавшихся на протяжении десятков и сотен миллионов лет. Даже формирование современного рельефа происходило в течение, как минимум, десятков и сотен тысяч, возможно даже миллионов лет. А сведения о сейсмичности, тем более о землетрясениях малых и средних магнитуд (M≤5.7), относящихся к "доменной сейсмичности", которые, фактически, являются "проверочным" критерием, позволяющим оценить правильность наших построений, имеются всего за несколько десятков лет. Это противоречие имеет фундаментальный, неразрешимый характер, и проведение границ сейсмодоменов – всегда результат неизбежного компромисса.

Учитывая отмеченную субъективность выделения сейсмодоменов, при разработке Региональной модели зон ВОЗ мы не стали составлять отдельную схему, а использовали схему доменов, принятую в модели к карте ОСР-2016, скорректировав повторяемость землетрясений с учетом с региональным графиком повторяемости (Таблица 3.7).

Итоговый вес рассматриваемой модели, учитывающей возможность разных оценок M_{max}, и базирующейся на наиболее полной на сегодняшний день схеме активных разломов ГИН РАН, в общем логическом дереве принят равным 0.5.

Таблица 3.7 Параметры доменов модели зон ВОЗ

№	M_{max}	Повторяемость землетрясений в год с Mlh±0.2					Площадь 1000 км^2
		3.5	4	4.5	5	5.5	
11	5	0.122955	0.029564	0.010633	0.004612		36.6
12	4.5	0.139787	0.033611	0.01209			41.7
13	4	0.178751	0.048609				41.0
14	5.5	0.256259	0.105758	0.031955	0.019314	0.00745	27.2
15	5.5	4.270979	0.963563	0.436063	0.149843	0.063869	52.7
17	5.5	0.928475	0.296012	0.145186	0.057939	0.022355	26.3
18	5	0.170651	0.041033	0.014758	0.006399		50.8
19	5	0.053426	0.012846	0.004619	0.002005		15.9
23	5	0.123322	0.029653	0.010666	0.004626		36.7

4 Уравнение макросейсмического поля

4.1 Уравнение макросейсмического поля на основе точечной модели очага

При оценке интенсивности широко используется уравнение макросейсмического поля I(M,D) Блейка-Шебалина со среднемировыми коэффициентами:

$$I_i = b \cdot M - \gamma \cdot \lg \sqrt{\Delta_i^2 + h^2} + c, \quad (3.1)$$

где I_i - балльность на расстоянии Δ_i, км; h - глубина очага, км; b, γ, c - свободные члены (коэффициенты уравнения макросейсмического поля), в среднем равные: b - 1.5; γ - 3.5; c - 3.0. Необходимо отметить, что данное соотношение рекомендовано Шебалиным для землетрясений с магнитудой 6.0 и менее. Для землетрясений с магнитудой 6.5 и более необходимо учитывать протяженность очага.

Из работы Н.В. Шебалина (1968) следует соотношение интенсивности для эпицентральной области I_0:

$$I_0 = b \cdot M - \gamma \cdot \lg h + c, \quad (3.2)$$

И затухание балльности с расстоянием – макросейсмическая формула:

$$I_0 - I_i = \gamma \cdot \lg \sqrt{1 + \frac{\Delta_i^2}{h^2}}, \quad (3.3)$$

Абсолютный предел балльности определяется из соотношений для эпицентра:

$$I_0 \le 0.4 \cdot M + 7, \quad (3.4)$$

а для точки на расстоянии Δ_i

$$I_i \le b \cdot M - \gamma \cdot \lg \sqrt{\Delta_i^2 - \alpha \cdot 10^{\beta \cdot M}} + c, \quad (3.5)$$

где b - 1.5; γ - 3.5; c - 3.0, α и β - численные коэффициенты, близкие 0.0033 и 0.68 соответственно.

4.2 Уравнение макросейсмического поля на основе протяженной модели очага

Протяженность разрывов, по которым в очагах больших (высокомагнитудных) землетрясений происходят подвижки, составляет десятки и сотни километров. Поэтому, расчет изосейст на основе точечной модели очага на расстояниях сопоставимых или меньших размерам очага заведомо дает завышенные оценки. При этом, чем выше магнитуда землетрясения, тем больше ошибка: 0,5-1 балл для M~4, и 2-3 балла для M>6.

Альтернативные оценки интенсивности, с учетом протяженной модели очага широко используются в сейсмологической практике. Такой подход позволяет автоматически учитывать насыщение уровня сотрясений вблизи протяженного очага, исключить потенциальные ошибки из-за внутренней нелинейности и насыщения магнитудных шкал, снимает как искусственную проблему выбора варианта эмпирической формулы Блейка-Шебалина.

Модель протяженного очага заложена в методику ОСР-97/2016. При моделировании средней зависимости I(M_W,r) будем исходить из представления об очаге (Рисунок 4.1, Таблица 4.1), принимая его в виде прямоугольника длины L = L(M_W) и ширины W = W(M_W).

Схема расчета интенсивности. C – гипоцентр, C’ – эпицентр прямоугольного очага длины L и ширины W на глубине H, наклоненного под углом φ. Плоскость XY – дневная поверхность, P – точка наблюдения («приемник»), r – гипоцентральное расстояние, r_i – расстояние до i - ого субисточника, на которые разбит очаг. Прямоугольник на плоскости XY – проекция очага на дневную поверхность, утолщенная сторона – проекция верхней кромки очага. Кривые на плоскости XY – изосейсты от данного очага.

Площадь прямоугольника S в км^2 рассчитывается исходя из значения моментной магнитуды Mw землетрясения по соотношению M_W = lg S + C_{MS}, где C_{MS} коэффициент принятый равным 3.11. Для разных M_W отношение L/W различны, и меняются от единицы при M_W=5,5 до четырех при M_W=8 (Таблица 4.1).

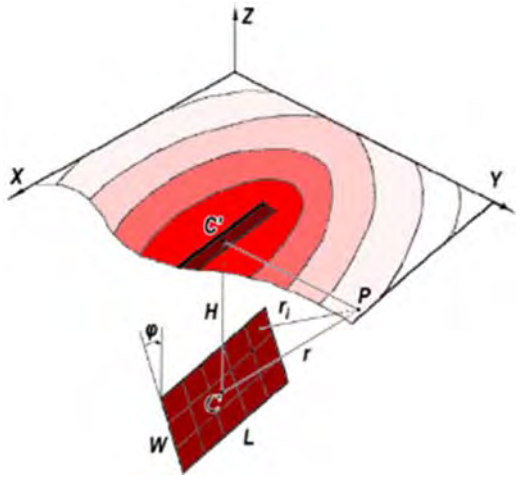


Рисунок 4.1 Модель протяженного очага

Таблица 4.1 Осредненные пространственные параметры очага в зависимости от магнитуды

Mlh	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
L, км	1	2	3	5	9	16	28	47	92	180
W, км	1	2	3	5	6	8	12	17	27	45

Связь «интенсивность (балл) – магнитуда – расстояние I (M,r)» моделируется по эмпирическим данным в регионе. Для аппроксимации этих данных и прогноза балльности используется модель такой связи на основе представления о некогерентном протяженном очаге в виде излучающей площадки прямоугольной формы с параллельной дневной поверхности длинной стороной. Очаг характеризуется моментной магнитудой. В рассматриваемой модели принято, что длина и ширина площадки и их соотношение зависят от магнитуды и сброшенного напряжения. Гипотеза геометрического и динамического подобия очагов используется для прогноза средних параметров площадки по моментной магнитуде; отклонение от этой гипотезы также моделируется: разброс по сброшенному напряжению – как случайная величина, а соотношение длины и ширины – как детерминированная функция магнитуды. Фактический разброс балла при данной магнитуде в точке наблюдения моделируется на основе гипотезы нормального закона для ошибки прогноза балла по принятой расчетной схеме. Значение стандартного уклонения этого закона задается. Модель учитывает эффекты насыщения интенсивности вблизи очага, нелинейность зависимости балла от расстояния I(lgr) и насыщение магнитуды при больших сейсмических моментах Mo, т.е. снимается проблема завышения балла при малых расстояниях и автоматически моделируется эллиптичность изосейст в ближней зоне от очагов больших магнитуд.

Интенсивность I в точке на удалении r от центра прямоугольного очага размером L.W и с магнитудой MW, состоящего из N элементарных излучателей, определяется по формуле:

$$I = IБ + CM\,(MW - MWБ) + CA\{\lg[(1/N)\ \Phi(r_i)] - \lg[(1/NБ)\ \Phi(r_jБ)]\} \quad (3.6)$$

где r_i ($r_iБ$) – расстояние от i-того (j -того) субисточника очага (базового очага) до точки, в которой вычисляется I (IБ);

Ф(r) – функция, моделирующая затухание.

$$\Phi(r) = \begin{cases} g(r, n1, rQ1), r < rc \\ g(r, n2, rQ2), r > rc \end{cases} \quad (3.7)$$

rQ = c Q(f1)/2πf1, где c – скорость и f1 – средняя частота S-волн, Q – добротность среды.

CA– коэффициент, характеризующий связь балла с интенсивностью по Ариасу;

CM – коэффициент, характеризующий связь балла с моментной магнитудой;

n1 – показатель степени расхождения волн в среде при r<rc;

rQ1 – расстояние, на котором энергия поглощается средой в e раз, при r<rc;

n2 – показатель степени расхождения волн в среде при r>rc;

rQ2 – расстояние, на котором энергия поглощается средой в e раз, при r>rc;

rc – расстояние переключения функции затухания с 1-ого типа (n1) на 2-ой (n2);

IБ – балл от базового очага с магнитудой MWБ на расстоянии rБ от его центра по нормали.

Параметры модели для материковой части Северной Евразии, заложенные в методику ОСР-97/2016: CA=1,667; CM=1,85; n1=1; n2=0,5; rQ1=rQ2=100 км; rc=70 км; IБ= I(MW=6,23 (MLH=6), rБ=50 км)=6,05 балла.

4.3 Инструментальная шкала сейсмической интенсивности (по Ф.Ф. Аптикаеву)

Следующий вариант модели сейсмического эффекта относительно новый. В работе «Инструментальная шкала сейсмической интенсивности» (Аптикаев, 2012) выделены три зоны с различным затуханием: очаговая, ближняя и дальняя зоны (Рис.4.2). В очаговой зоне наблюдается рост ускорения грунта с расстоянием. Максимальный уровень ускорения наблюдается на кратчайшем расстоянии Rмакс от разлома:

$$Lg\ R_{макс} = 0{,}33Mlh - 1{,}67 \qquad (3.8)$$

В очаговой зоне происходит множество вторичных явлений, связанных с высоким уровнем амплитуд. Кроме того, в этой зоне важную роль играют остаточные деформации, эффект от которых может превосходить эффект от вибрационного воздействия. Поэтому целесообразно осреднить эффект в очаговой зоне, положив $PGA = PGA_o = const$ (см. Рис.4.2). Эта зона протягивается от поверхности разрыва до расстояния Ro (км), которое определяется следующим образом:

$$Lg\ R_0 = 0{,}33\ Mlh - 1{,}51 \qquad (3.9)$$

Вторая зона (ближняя) протягивается от R_0 до R_1:

$$Lg\ R1 = 0{,}33\ Mlh - 0{,}61, \qquad (3.10)$$

где R_1 – граница между ближней и дальней зонами, на которой PGA = 170 см/с^2 для всех типов подвижки в очаге и всех типов грунтов.

PGA в ближней зоне описывается эмпирической формулой:

$$lg(PGA) = C\ (0{,}33\ Mlh - 0{,}61 - lg\ R) + 2{,}23 \pm 0{,}16 \qquad (3.11)$$

170 см/с2 < PGA < PGA0, R0<R<R1,

где значения PGA_0 и C приведены в Таблица 4.2. В очаговой и ближней зонах не обнаружено существенных влияний грунтовых условий.

В дальней зоне ($lg\ R > lg\ R_1$; PGA < 170 см/с^2) PGA описывается следующим выражением:

$$lg(PGA) = 0{,}634\ Mlh - 1{,}92\ lg\ (R) + 1{,}076 \pm 0{,}18 \qquad (3.12)$$

В этой зоне наблюдается существенное влияние грунтовых условий на уровень колебаний. На Рисунок 4.2 амплитудная кривая в дальней зоне соответствует средним грунтам. Оценки относятся к наибольшей амплитуде на горизонтальной компоненте.

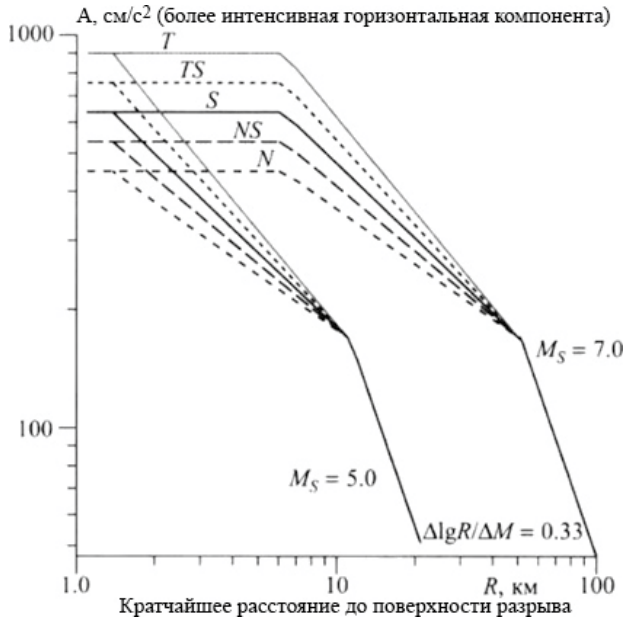


Рисунок 4.2 Эмпирические кривые затухания пиковых амплитуд ускорения (условные обозначения см. Таблица 4.2)

Таблица 4.2 Коэффициенты в эмпирических соотношениях затухания

C	PGA_0, см/с^2	Тип подвижки
0,800	900	Взброс (T)
0,717	757	Взбросо-сдвиг (TS)
0,633	637	Сдвиг (S)
0,550	536	Сбросо-сдвиг (NS)
0,467	450	Сброс (N)

Продолжительность колебаний на средних грунтах - зависимость ширины импульса от магнитуды, типа подвижки и расстояния с учетом записей сильных движений имеет вид (Аптикаев, 2012)

$$\lg(d) = 0{,}2 \cdot Mlh + 0{,}51 \lg R - 1{,}3 + C_1 \pm 0{,}3 \qquad (3.13)$$

где C_1=0,25 для сбросов, 0,12 для сбросо-сдвигов, 0,00 для сдвигов, -0,12 для взбросо-сдвигов и -0,25 для взбросов.

Оценки сейсмической интенсивности на любых расстояниях с учетом амплитуды ускорения и продолжительности колебаний рекомендуется выполнять по формуле:

$$I = 2{,}5\ (PGA, см/с^2) + 1{,}25 \lg(d) + 1{,}05 \qquad (3.14)$$

Оценки стандартного отклонения, характеризует совокупность случайных отклонений величины расчетной интенсивности I приведены в Таблица 4.3

Таблица 4.3 Оценки стандартного отклонения расчетной интенсивности

I, баллы	9	8	7	6	5	4
σ(I), баллы	0,35	0,43	0,50	0,72	0,72	0,75

В литературе встречаются оценки погрешности определения сейсмической Интенсивности от σ(I)=0,4 до σ(I)=0,6. По оценкам Ф.Ф. Аптикаева, стандартная погрешность оценки сейсмической интенсивности зависит от уровня интенсивности. Особенно заметно это различие в интервале между I = 6 и I = 7.

5 Уравнения прогнозирования движения грунта (УПДГ)

Целью вероятностного анализа сейсмической опасности является определение уровня (или вероятности превышения различных уровней) движений земной поверхности на исследуемой площадке, создаваемого всеми возможными землетрясениями. Одним из важных этапов анализа сейсмической опасности является определение модели(ей) движений, которые порождаются землетрясениями в окрестности площадки, или так называемого уравнения прогнозирования движения грунта (УПДГ).

Существует большое количество УПДГ, полученных для многочисленных землетрясений и пунктов. В публикации «Ground motion prediction equations 1964-2018» приведено 450 УПДГ для прогноза пиковых ускорений и 290 для прогноза спектральных ускорений. Большинство основных соотношений позволяют рассчитать уровни движений как функции магнитуды и расстояния. Кроме того, они могут включать в себя и другие параметры, характеризующие различные типы грунтов и механизмов очагов. Различные соотношения также разработаны для разных тектонических режимов.

В 2008 г. в Тихоокеанском Исследовательском Центре Инженерной Сейсмологии (Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)) завершена часть проекта «Новое поколение соотношений затухания» (Next Generation Attenuation of Ground Motion (NGA)), включающая в себя разработку моделей движения грунта, вызванных относительно неглубокими землетрясениями, произошедшими в земной коре в активных тектонических регионах.

В 2016 г. в рамках проекта «Global Earthquake Model (GEM) Global GMPEs project», завершен этап NGA-West2, посвященный разработке моделей движений грунтов в активных континентальных районах.

Аналогичные исследования проводятся в Европейских странах, в рамках проекта «The Seismic HAzard haRmonization in Europe (SHARE)», который начался в июне 2009 г. В рамках этого проекта в 2012 г. построено логическое дерево для расчетов BACO в Европе. Для этого были отобраны 5 уравнений ОДГ. В логическом дереве им были присвоены соответствующие веса с тем, чтобы полностью охватить эпистемическую неопределенность ожидаемых движений грунтов для шести различных тектонических режимов Европы. В результате совместно был отобран минимальный набор УПДГ для Европы.

Непосредственно для региона исследований принят набор УПДГ, рекомендованный для активных зон средиземноморского региона. Европейско-средиземноморская модель сейсмической опасности 2013 года (ESHM13) также была в рамках проекта SHARE (Giardini et al, 2014).

Ниже приводится краткое описание используемых моделей.

5.1 УПДГ для землетрясений в Европе и на Ближнем Востоке (Akkar, et al., 2014)

Модель разработана для пиковых ускорений горизонтальной компоненты землетрясений с глубиной гипоцентра 0-29 км. Модель включает зависимость от типа механизма очага, от локальных грунтовых условий площадки для VS30 от 180 до 1000 м/с. Модель применима для магнитуд Mw = 4.0-7.6 и расстояния от 0 до 200 км. В модели используются расстояния трех типов: гипоцентральное, эпицентральное, и расстояние по Буру (от проекции площадки очага на поверхность).

Уравнение прогнозирования движения грунта имеет следующий вид:

$\ln(Y)= \ln(Y_{REF})+\ln(S)$

$$\ln(Y_{REF}) = \begin{cases} a_1 + a_2(M - 6.75) + a_3(8.5 - M)^2 + (a_4 + a_5(M - 6.75))\ln\sqrt{R_2 + a_6^2} + a_8 F_N + a_9 F_R, M_w \le 6.75 \\ a_1 + a_7(M - 6.75) + a_3(8.5 - M)^2 + (a_4 + a_5(M - 6.75))\ln\sqrt{R_2 + a_6^2} + a_8 F_N + a_9 F_R, M_w > 6.75 \end{cases}$$

$$\ln(S) = \begin{cases} b_1 \ln(V_{s,30}/V_{REF}) + b_2 \ln\left(\dfrac{PGA_{REF} + c(V_{s,30}/V_{REF})^n}{(PGA_{REF} + c)(V_{s,30}/V_{REF})^n}\right), V_{s,30} \le V_{REF} \\ b_1 \ln\left(\dfrac{\min(V_{s,30}, V_{COF})}{PGA_{REF}}\right), V_{s,30} > V_{REF} \end{cases}$$

где: Y в долях g; a_8=−0.1091, a_9=0.0937, a_2=0.0029, a_5=0.2529, a_6=7.5 и a_7=−0.5096; a_1=1.85329, a_3=−0.02807, a_4=−1.23452, φ=0.6201 (intra-event), τ=0.3501 (inter-event) и σ=0.7121 (total) для r_{jb}; a_1=2.52977, a_3=−0.05496, a_4=−1.31001, φ=0.6375 (intra-event), τ=0.3581 (inter-event) и σ=0.7312 (total) для r_{epi}; a_1=3.26685, a_3=−0.04846, a_4=−1.47905, φ=0.6475 (intra-event), τ=0.3472 (inter-event) и σ=0.7347 (total) для r_{hypo}; V_{REF}=750 м/с, V_{CON}=1000 м/с, b_1=−0.41997, b_2=−0.28846, c=2.5 и n=3.2.

5.2 УПДГ горизонтальной составляющей пиковых и спектральных параметров (Chiou, Youngs, 2008)

Модель разработана для пиковых ускорений горизонтальной компоненты неглубоких коровых землетрясений, и спектральных ординат псевдо-ускорений с 5% затуханием с периодами в диапазоне от 0.01 до 10 с. Модель включает зависимость от типа механизма очага, от эффекта висячего крыла, от масштабирования с глубиной до поверхности разрыва, от локальных грунтовых условий площадки для V_{S30} от 150 до 1500 м/с и др. В модели используется расстояние до плоскости разрыва R_{rup}.

Уравнение прогнозирования движения грунта имеет следующий вид:

$$\ln(y) = \ln(y_{ref}) + \phi_1 \min\left[\frac{V_{S30}}{1130}, 0\right] + \phi_2 \left\{e^{\phi_3[\min(V_{S30},1130)-360]} - e^{\phi_3(1130-360)}\right\} \ln\left(\frac{y_{ref} e^{\eta} + \phi_4}{\phi_4}\right) +$$

$$+ \phi 5 \left\{1 - \frac{1}{\cosh\left[\phi 6 \max(0, Z_{1.0} - \phi_7)\right]}\right\};$$

$$\ln(y_{ref}) = c_1 + \left[c_{1a} F_{RV} + c_{1b} F_{NM} + c_7 (Z_{TOR} - 4)\right](1 - AS) + \left[c_{10} + c_{7a}(Z_{TOR} - 4)\right] AS + c_2 (M - 6) +$$

$$+ \left[c_{10} + c_{7a}(Z_{TOR} - 4)\right] AS + c_2 (M - 6) + \frac{c_2 - c_3}{c_n} \ln\left[1 + e^{c_n (c_M - M)}\right] +$$

$$+ c_4 \ln\left\{R_{RUT} + c_5 \cosh\left[c_6 \max(M - c_{HM}, 0)\right]\right\} + (c4a - c4) \ln(\sqrt{R_{RUP}^2 + c_{RB}^2}) +$$

$$+ c_9 F_{HW} \tanh\left(\frac{R_X \cos^2 \delta}{c^{9a}}\right)\left(1 - \frac{\sqrt{R_{JB}^2 + Z_{TOR}^2}}{R_{RUP} + 0.001}\right);$$

$$\tau = \tau_1 + \frac{\tau_2 - \tau_1}{2} \times \left[\min\left\{\max(M, 5), 7\right\} - 5\right];$$

$$\sigma = \left\{\sigma_1 + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2} \times \left[\min\left\{\max(M, 5), 7\right\} - 5\right] + \sigma_4 \times AS\right\} \sqrt{(\sigma_3 F_{Inferred} + 0.7 F_{Measured}) + (1 + NL)^2}$$

где: Y в долях g, c_2=1.06, c_3=3.45, c_4=-2.1, c_{4a}=-0.5, c_{RB}=50, c_{HM}=3, $c_{\gamma 3}$=4, c_1=-1.2687, c_{1a}=0.1, c_{1b}=-0.2550, c_n=2.996, c_M=4.1840, c_5=6.1600, c_6=0.4893, c_7=0.0512, c_{7a}=0.0860, c_9=0.7900, c_{9a}=1.5005, c_{10}=-0.3218, $c_{\gamma 1}$=-0.00804, $c_{\gamma 2}$=-0.00785, φ_1=-0.4417, φ_2=-0.1417, φ_3=-0.00701, φ_4=0.102151, φ_5=0.2289, φ_6=0.014996, φ_7=580.0, φ_8=0.07, τ_1=0.3437, τ_2=0.2637, σ_1=0.4458, σ_2=0.3459, σ_3=0.8 и σ_4=0.0663.

5.3 УПДГ для сейсмоактивных регионов Турции (Akkar, Cagnan, 2010)

Модель разработана для пиковых ускорений горизонтальной компоненты землетрясеий с глубиной гипоцентра 0-50 км, и спектральных ординат псевдо-ускорений с 5% затуханием с периодами в диапазоне от 0.03 до 2 с. Модель включает зависимость от типа механизма очага, от локальных грунтовых условий площадки по классификации NEHRP. В модели используется расстояния по Буру.

Уравнение прогнозирования движения грунта имеет следующий вид:

$\ln(Y)=a_1+a_2(M-c_1)+a_4(8.5-M)^2+(a_5+a_6(M-c_1))\ln(R_{jb}^2+a_7^2)^{0.5}+a_8F_N+a_9F_R+F_S$ для $M \le c_1$;

$\ln(Y)=a_1+a_3(M-c_1)+a_4(8.5-M)^2+(a_5+a_6(M-c_1))\ln(R_{jb}^2+a_7^2)^{0.5}+a_8F_N+a_9F_R+F_S$ для $M < c_1$;

Где $F_S = F_{LIN} + F_{NL}$; $F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{S30}/V_{ref})$;

$F_{NL} = b_{nl} \ln(10\ pga_{low})$, для pga4nl ≤ 0.03 g;

$F_{NL} = b_{nl} \ln(10\ pga_{low}) + c\ (\ln(pga4nl/0.03)^2 + d\ (\ln(pga4nl/0.03)^3$, для 0.03 < pga4nl ≤ 0.09 g

$F_{NL} = b_{nl} \ln(10\ pga4nl)$, для pga4nl > 0.09 g

где Y в см/с^2, a_1=8.92418, a_2=−0.513, a_3=−0.695, a_4=−0.18555, a_5=−1.25594, a_6=0.18105, a_7=7.33617, a_8=−0.02125, a_9=0.01851, σ=0.6527 (intra-event), τ=0.5163 (inter-event) and $\sigma_{Tot} = (\sigma 2 + \tau\ 2)^{0.5}$=0.8322 и b_{lin}=−0.36, b_1=−0.64 и b_2=−0.14, c1 = 6.5. pga4nl это PGA в g для Vs_{30} = 760 м/с.

5.4 УПДГ сильных колебаний грунта с использованием классификации участков на основе преобладающего периода (Zhao et al, 2006)

Модель разработана для пиковых ускорений горизонтальной компоненты землетрясений (коровых и субдукционных), и спектральных ординат псевдо-ускорений с 5% затуханием с периодами в диапазоне от 0.05 до 5 с. Модель включает зависимость от типа механизма очага, от локальных грунтовых условий площадки по классификации NEHRP. В модели используется расстояние до плоскости разрыва R_{rup}.

Уравнение прогнозирования движения грунта имеет следующий вид:

$\log_e(y) = a\ M_w + b\ x - \log_e(r) + e\ (h - h_c)\ \delta_h + S_R + S_I + S_S + S_{SL}\ \log_e(x) + C_k$, где $r = x + c\ \exp(dM_w)$

где y в см/с^2, δ_h=1 где h≥h_c и 0 в другом случае, a=1.101, b=−0.00564, c=0.0055, d=1.080, e=0.01412, S_R=0.251, S_I=0.000, S_S =2.607, S_{SL}=−0.528, C_H=0.293, C_1=1.111, C_2=1.344, C_3=1.355, C_4=1.420, σ=0.604 (intra-event) и τ=0.398 (inter-event), h_c=15 км.

6 Вероятностный анализ сейсмической опасности

6.1 Общая схема расчета

В настоящее время в мировой практике широко используются два варианта расчетных процедур ВАСО: "классический" подход и подход на основе метода Монте-Карло.

Одной из наиболее известных программ для вычисления сейсмической опасности на основе классического подхода является программа SEISRISK-III, разработанная в 1987 г. Данную программу до сих пор используют, в том числе и в России, несмотря на то, что за последнее десятилетние разработаны более современные инструменты для выполнения ВАСО. Основными минусами SEISRISK-III являются: невозможность использования современных функциональных зависимостей УПДГ, плоская (двухмерная) модель зон ВОЗ.

В настоящее время в мире активно разрабатываются и широко используются компьютерные программы для проведения ВАСО на основе классического подхода: комплексы программных модулей OpenSHA и R-CRISIS, расчетный модуль OpenQuake Engine. Последняя является наиболее функциональной из перечисленных программ. В руководстве пользователя OpenQuake предоставлены результаты сравнения со значениями программы SEISRISK-III, которые, учитывая сложность входной модели и различия в алгоритмах, используемых двумя программами, подтверждают надежность результатов, получаемых OpenQuake.

Наиболее функциональной реализацией процедуры ВАСО на основе метода Монте-Карло объективно можно считать PRB-60, разработанная в рамках методики ОСР-97. Методические основы пакета и базовые алгоритмы были разработаны А.А. Гусевым с участием Л.С. Шумилиной и В.М. Павлова, программная реализация пакета осуществлена В.М. Павловым. В 2010-2016 гг. программное обеспечение развивалось на протяжении 2003-2016 гг., его последняя реализация получила наименование EAST-2016. Именно в этом программном обеспечении рассчитывались карты общего сейсмического районирования ОСР-2016. При выполнении работ по УИС и ДСР на территории РФ в долях макросейсмического балла, обоснованным можно считать применение ПО EAST-2016, как наиболее адоптированного к требованиям национальных стандартов, и ориентированного на обеспечение технологической цепочки ОСР - ДСР (УИС) – СМР.

С учетом сказанного выше, для расчета численных характеристик сейсмических воздействий использован расчетный модуль OpenQuake Engine. Для оценки сейсмических воздействий в баллах макросейсмической шкалы использован программный комплекс EAST-2016, разработанный на основе метода Монте-Карло.

Взвешенные альтернативные интерпретации выражены через логические деревья. Логическое дерево состоит из последовательности узлов и ветвей, описывающих альтернативные модели и/или параметрические значения. В каждом узле имеется набор ветвей, которые представляют альтернативные правдоподобные модели и параметрические значения. Веса, приписанные ветвям, представляют суждения относительно правдоподобности альтернативных моделей или параметров. В каждом узле сумма весов должна быть равна единице.

Каждая траектория через составные логические деревья представляет собой полное толкование сейсмических источников в пункте, для которого вычисляется алеаторическая кривая сейсмической опасности. Каждая траектория связана с вероятностью, равной произведению условных вероятностей всех ветвей вдоль пути. Результат вычисления опасности для всех траекторий есть семейство кривых опасности, каждая с относящимся к ней весом, представляющие полную алеаторическую изменчивость и эпистемическую неопределенность в опасности для пункта.

В разделах 3.1 – 3.3 отчета приведены параметры моделей зон ВОЗ, принятых в данной работе как альтернативные (Таблица 6.1).

Вариант №3 модели зон ВОЗ представляет собой самостоятельное логическое дерево, приведенное в приложении 3.

Таблица 6.1 Логическое дерево моделей зон ВОЗ

Модель зон ВОЗ	Вес
Вариант №1 ОСР-97 (раздел 2.1)	0.2
Вариант №2 ОСР-2016 (раздел 2.2)	0.3
Вариант №3 по данным ГИН РАН (раздел 2.3)	0.5

Для оценки максимальных возможных магнитуд линеаментов третьего варианта модели зон ВОЗ приняты весовые коэффициенты, перечисленные в Таблица 6.2.

Таблица 6.2 Логическое дерево M_{max} линеаментов модели зон ВОЗ №4

№ лин	Весовой коэффиц. M_{max}				№ лин	Весовой коэффиц. M_{max}			
	6.0	6.5	7.0	7.5		6.0	6.5	7.0	7.5
1	0.6	0.3	0.1		13	0.5	0.5		
2	0.7	0.3			14	0.4	0.4	0.2	
3	0.7	0.3			15	0.4	0.4	0.2	
4	0.5	0.4	0.1		16	0.3	0.4	0.3	
5	0.7	0.3			17	0.5	0.5		
6	0.5	0.4	0.1		18		0.7	0.3	
7	0.5	0.5			19		0.3	0.4	0.3
8	0.5	0.5			20	0.5	0.5		
9	0.7	0.3			21	0	0.1	0.5	0.4
10	0.7	0.3			22	0.3	0.4	0.3	
11	0.8	0.2			23	0.8	0.2		
12	0.1	0.4	0.5						

Всего для расчетов было использовано два УПДГ в баллах макросейсмической шкалы, и четыре УПДГ в численных характеристиках-PGA и SA (Таблица 6.3).

Таблица 6.3 Логическое дерево уравнений прогнозирования движения грунта

Тип	№ варианта	УПДГ	Вес
Балл	1	Гусев 1997	0.5
	2	Аптикаев 2012	0.5
PGA, SA	1	Akkar S., Sandıkkaya M.A., Bommer J.J., 2014	0.35
	2	Chiou B.S.J., Youngs R.R., 2008	0.35
	3	Akkar S., Cagnan Z., 2010	0.2
	4	Zhao J.X. и др., 2006	0.1

Всего логические деревья для расчета сейсмической опасности в баллах макросейсмической шкалы и численных характеристиках содержат 42 и 105 ветвей соответственно.

При использовании логического дерева анализ сейсмической опасности проводится для каждой полной ветви. Результату приписывается вес, равный весу выбранной полной ветви, а конечный результат выбирается как сумма взвешенных отдельных результатов. Таким образом, для принятой модели кривая опасности $f_{i,j}(I)$, где I интенсивность сотрясений, выражается в виде

$$f(I) = \sum_{i,j=1}^{na,nb} w_i^a w_j^b f_{i,j}(I), \quad (5.1)$$

где: a, b - обозначение последовательных узлов слева направо по дереву; na и nb - число элементов в каждом из этих узлов; $w^a{}_i$-вес i-го элемента в узле a. Обозначения $w^b{}_i$ имеют аналогичный смысл.

6.2 Расчет сейсмической опасности в баллах макросейсмической шкалы

Расчет выполнен с использованием программного комплекса EAST-2016, разработанного на основе методики ОСР-97 под руководством В.И. Уломова (2007). В основу EAST-2016 положен пакет программ PRB, разработанный А.А. Гусевым, В.М. Павловым и Л.С. Шумилиной в рамках работ по ОСР-97. Для проведения площадного расчета была построена сетка с шагом 2х2 км (Рисунок 6.1).

В результате расчетов получены таблицы содержащие координаты узлов и расчетные значения интенсивности в них. В Таблица 6.4 приведен пример выходной информации из программы BACO. Результирующие оценки интенсивности, полученные по результатам расчетов для периодов повторяемости сотрясений 500, 1000 и 5000 лет приведены в Таблица

6.5 и показаны на Рисунок 6.2. Кривые опасности по всем ветвям расчета приведены на Рисунок 6.3.

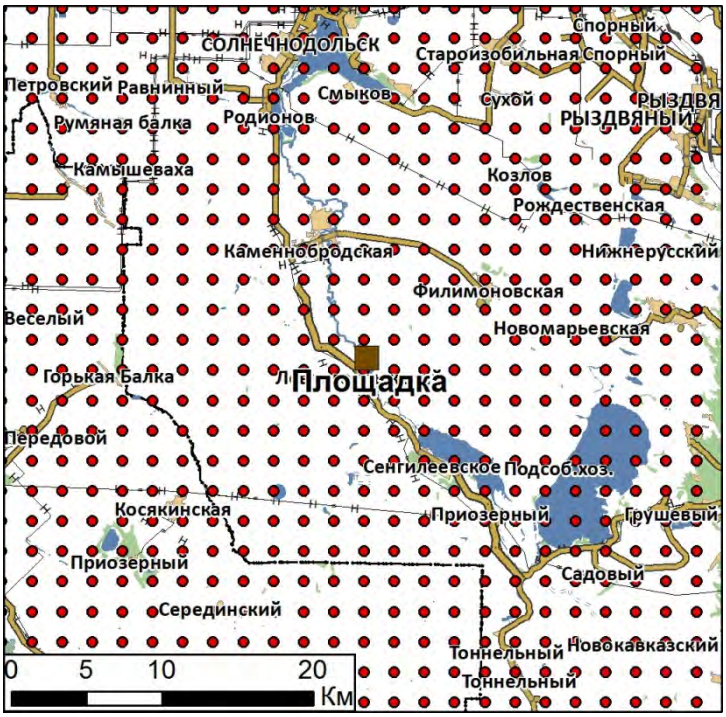


Рисунок 6.1 Расчетная сетка с шагом 2х2 км.

Таблица 6.4 Пример выходной информации из программы ВАСО

Координаты		Интенсивность в долях балла для периода повторяемости Т лет		
lat	lon	500	1000	5000
…	…	…	…	…
45.1025	41.5557	6.84	7.26	8.14
45.1205	41.5557	6.83	7.24	8.13
45.1025	41.5811	6.86	7.27	8.16
45.1205	41.5811	6.84	7.26	8.15
…	…	…	…	…

Таблица 6.5 Результаты вероятностной оценки сейсмической опасности

Период повторяемости воздействий	500 лет	1000 лет	5000 лет
Интенсивность сотрясений в долях балла	6.8	7.3	8.1

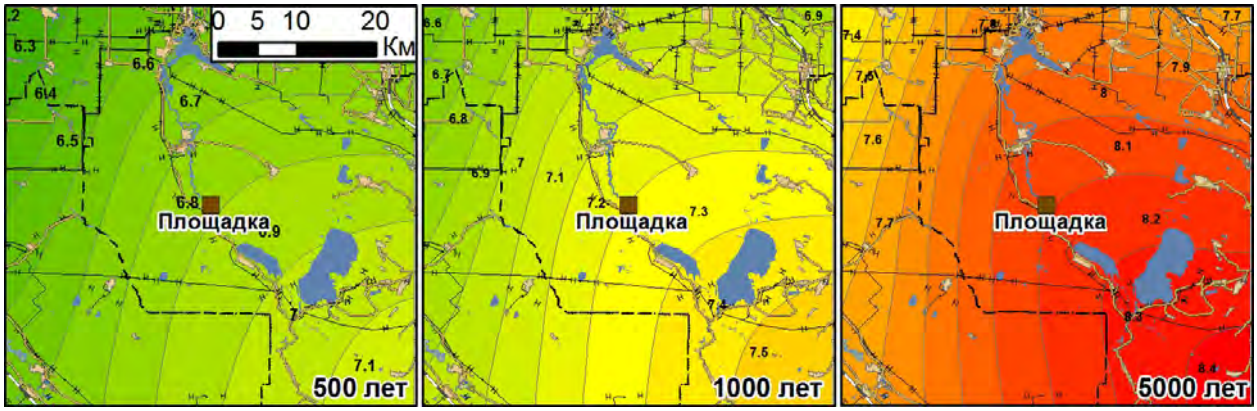


Рисунок 6.2 Схемы УИС на основе площадного расчета

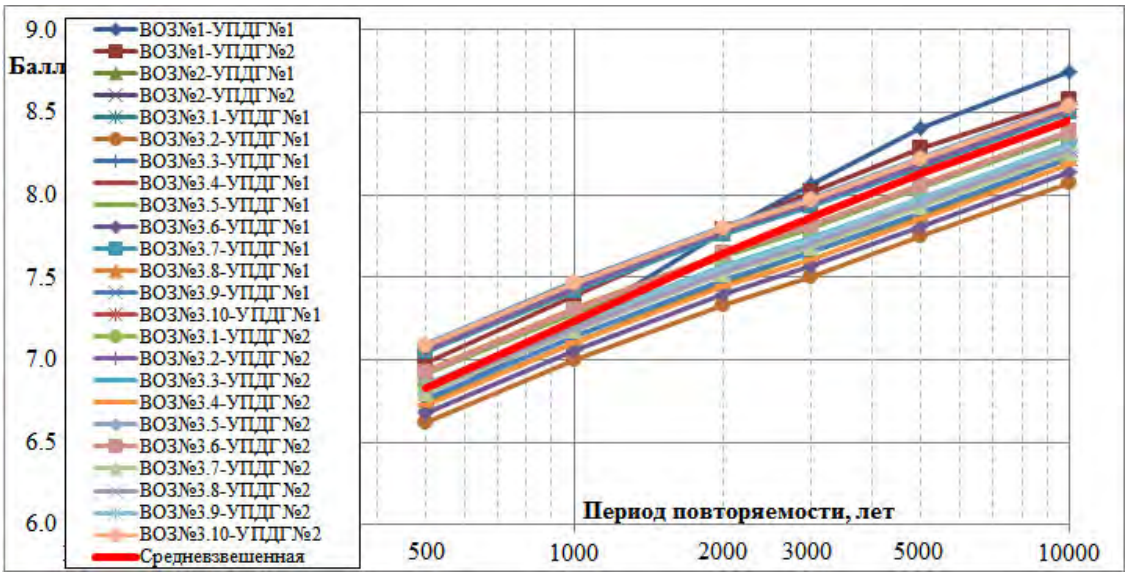


Рисунок 6.3 Кривые опасности в долях балла для плотины Егорлыкского г/у

Таким образом, по результатам ДСР, уточненную исходную сейсмическую опасность площадки расположения плотины Егорлыкского г/у в привязке к грунтам II категории следует принимать, как средневзвешенное значение равное, соответственно, 6.8, 7.3 и 8.1 баллов шкалы MSK-64 для периодов повторяемости воздействий 500, 1000 и 5000 лет.

6.3 Расчет сейсмической опасности в численных характеристиках

Расчет выполнен с использованием программного комплекса OpenQuake Engine. Расчетный модуль OpenQuake Engine разрабатывался на основе программных модулей OpenSHA, в реализации европейской научной программы Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE).

Расчет выполнен для уровня референтного грунта первой категории с Vs=1000 м/с (Таблица 6.6). В таблице приведены результаты расчетов с учетом весовых коэффициентов логического дерева. Средняя длительность колебаний по Ф.Ф. Аптикаеву составляет 2.9, 3.5, 4.1 секунд для периодов повторяемости воздействий 500, 1000 и 5000 лет соответственно.

На Рисунок 6.4 показаны рассчитанные на основе логического дерева обобщенные спектры реакции на грунтах первой категории.

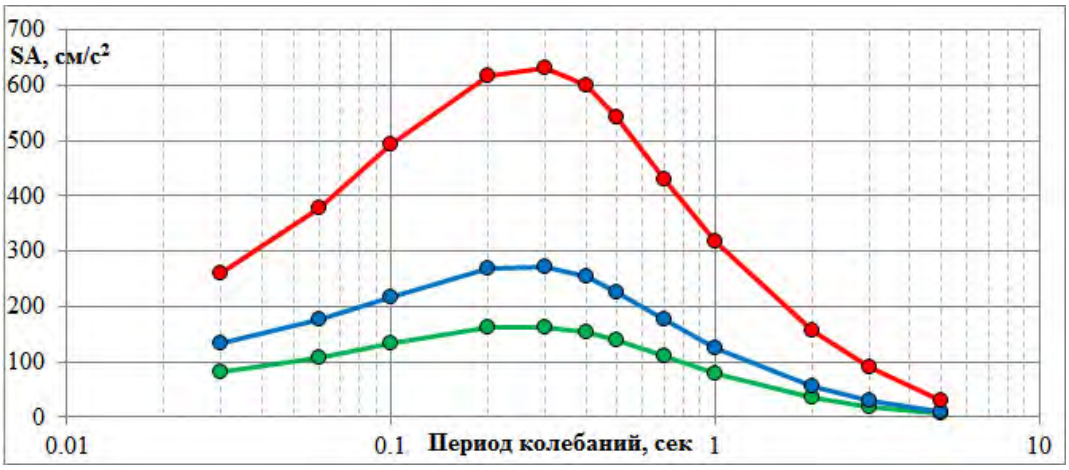


Рисунок 6.4 Обобщенные спектры реакции на грунтах I категории по сейсмическим свойствам

Таблица 6.6 Расчетные пиковые ускорения и амплитуды обобщенных спектров реакции при разных периодах повторяемости на референтных грунтах (см/с^2).

Период повторяемости, лет	P, %	PGA, см/с^2	Период колебаний, сек											Длительность, сек
			0.06	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1	2	3	5	
500	10	57.59	71.3	84.9	101.2	99.9	91.3	79.8	60.4	40.33	14.90	7.31	1.83	2.9
1000	5	98.3	119.0	139.6	166.5	162.8	146.2	126.4	93.3	61.9	22.81	11.40	3.19	3.5
5000	1	228.7	301.9	375.1	463.6	460.1	420.3	359.6	263.8	173.4	61.6	31.29	9.03	4.1

7 Проведение деагрегационного анализа сейсмической опасности

Оценка сейсмической опасности на основе процедур ВАСО – это опасность от потенциальных землетрясений многих различных магнитуд, происходящих на разных расстояниях источник-пункт. То есть рассчитанная интенсивность, не связана с какой-либо отдельной магнитудой или расстоянием. При этом оценить корректность работы моделей зон ВОЗ и затухания фактически невозможно.

Для того чтобы оценить вклад отдельных элементов модели зон ВОЗ в расчетные оценки сейсмической опасности и определить наиболее вероятные параметры землетрясений, обеспечивающих эти воздействия, применяется деагрегационный анализ.

Процесс «деагрегации» требует, чтобы средняя годовая частота превышения была выражена как функция магнитуды и расстояния. Вычислительно это сводится к тому, что суммирование по магнитуде и расстоянию при вычислении частоты превышения не выполняется, а полученное 2-мерное по (M, R) распределение частоты далее делится на частоту превышения заданной интенсивности. То есть формально «деагрегация» представляет собой распределение условной вероятности события с параметрами M, R при том условии, что на площадке воздействие от него равно или превышает расчетное.

Входными данными для деагрегационного анализа сейсмической опасности являются:

1. Координаты исследуемой площадки;
2. Каталог сейсмических событий, синтезированный в EAST-2016 для региона исследований;
3. Значения расчетной интенсивности сотрясений ПЗ и МРЗ рассчитанные в EAST -2016.

7.1 Моделирование в ПМО ВАСО каталога сейсмических событий на основе региональной модели зон ВОЗ

Используемое для расчетов комплекта карт ОСР-2016 программное обеспечение Восток-2016 позволяет выполнить построение синтетического каталога сейсмических событий на основе заданной модели зон ВОЗ на требуемый период времени.

В основу расчета повторяемости сейсмических воздействий различной интенсивности на изучаемой территории и ее сейсмического районирования положена виртуальная сейсмичность, полученная путем «разыгрывания» случайным образом гипотетических очагов землетрясений из продленного во времени синтетического каталога и в соответствии с созданной моделью зон ВОЗ. При этом каждое событие в каталоге характеризуется моментной

магнитудой, длиной, шириной, азимутом простирания и углом падения площадки очага, географическими координатами и глубиной гипоцентра.

С модельным каталогом можно работать так же, как и с обычным наблюденным каталогом: строить графики повторяемости, карты проекций площадок очагов на поверхность (аналог карты реальных очагов), вертикальные разрезы очаговых зон и т.п.

На Рисунок 7.1 показан модельный каталог землетрясений, синтезированный за период 5000 лет. Разным цветом показаны площадки, соответствующие землетрясениям разных магнитуд.

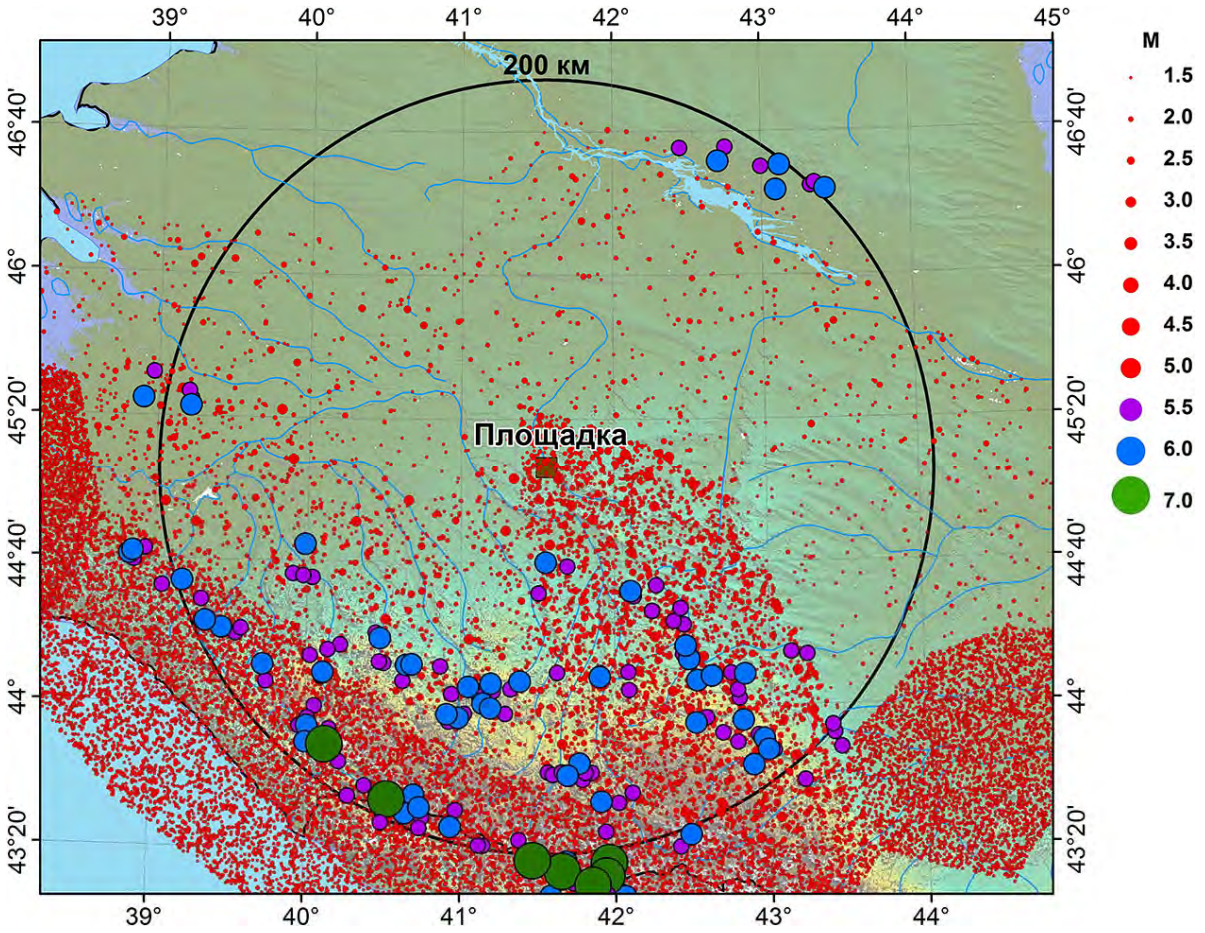


Рисунок 7.1 Модельные очаги землетрясений каталога, синтезированного за период 5000 лет на основе модели зон ВОЗ №3 (ГИН РАН).

7.2 Проведение деагрегационного анализа

При расчете сейсмической опасности, определяющими являются выбранные сейсмическая модель региона (ЛДФ модели зон ВОЗ) и функция затухания. Результатом деагрегационного анализа можно считать таблицу распределения условной вероятности события с шагом по магнитуде и по гипоцентральному расстоянию. На Рисунок 7.2 и в Таблица 7.1 приведено распределение для исследуемой площадки.

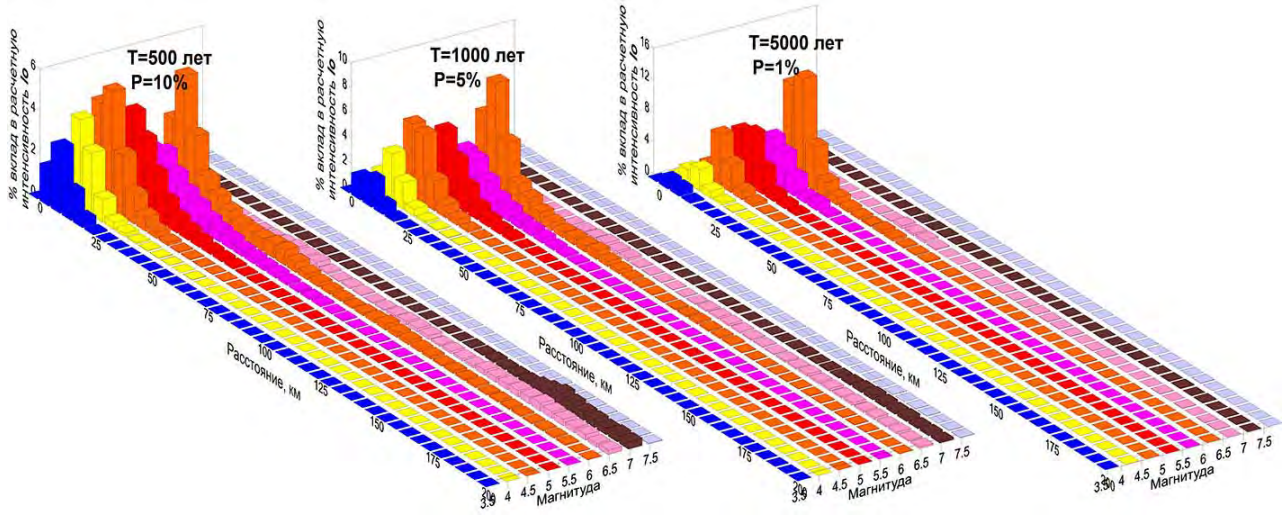


Рисунок 7.2 Гистограмма деагрегационного анализа

Результаты деагрегации показывают, что в расчетную интенсивность площадки основной вклад оказывают землетрясения с магнитудами Mlh=5.0-6.0 на расстояниях R=20±5 км.

Таблица 7.1 Деагрегационный анализ «Mlh-R»

Mlh ±0.2	R, км ±2	% вклада			Mlh ±0.2	R, км ±2	% вклада			Mlh ±0.2	R, км ±2	% вклада			Mlh ±0.2	R, км ±2	% вклада		
		500 лет	1000 лет	5000 лет			500 лет	1000 лет	5000 лет			500 лет	1000 лет	5000 лет			500 лет	1000 лет	5000 лет
3.5	5	1.8	1.7	1.1	4.5	30	0.7	0.5	0.1	6.5	65	0.2	0.2	0.4	7	150	0.1	0.1	0.0
4	5	1.5	1.7	1.8	5	30	1.2	1.0	0.5	5.5	70	0.2	0.1	0.0	6.5	155	0.3	0.2	0.0
4.5	5	0.8	1.1	1.8	5.5	30	1.3	1.3	0.8	6	70	0.5	0.4	0.2	7	155	0.1	0.1	0.0
5	5	0.1	0.2	0.5	6	30	1.8	2.0	2.0	6.5	70	0.2	0.2	0.1	6.5	160	0.3	0.2	0.0
3.5	10	3.1	2.2	1.0	4.5	35	0.3	0.2	0.0	5.5	75	0.1	0.1	0.0	7	160	0.3	0.2	0.0
4	10	4.2	3.8	2.7	5	35	0.7	0.5	0.3	6	75	0.3	0.3	0.2	6.5	165	0.3	0.1	0.0
4.5	10	4.8	5.7	6.4	5.5	35	1.1	1.0	0.9	6	80	0.2	0.2	0.0	7	165	0.4	0.3	0.0
5	10	2.3	3.3	6.2	6	35	1.2	1.4	1.0	6	85	0.1	0.1	0.1	6.5	170	0.4	0.2	0.0
5.5	10	0.9	1.5	3.8	4.5	40	0.1	0.1	0.0	6	90	0.1	0.1	0.0	7	170	0.6	0.4	0.1
6	10	0.3	0.6	1.5	5	40	0.5	0.3	0.1	6	100	0.2	0.1	0.0	6.5	175	0.3	0.1	0.0
3.5	15	1.4	0.8	0.2	5.5	40	0.7	0.6	0.3	6	105	0.2	0.1	0.1	7	175	0.5	0.3	0.0
4	15	3.0	2.1	0.9	6	40	0.9	0.9	0.5	6.5	105	0.1	0.1	0.0	6.5	180	0.3	0.2	0.0
4.5	15	5.6	5.5	3.5	5	45	0.3	0.3	0.0	6	110	0.3	0.2	0.0	7	180	0.4	0.3	0.1
5	15	4.4	5.3	6.8	5.5	45	0.6	0.5	0.1	6.5	110	0.2	0.1	0.0	6.5	185	0.3	0.1	0.0
5.5	15	2.3	3.4	5.6	6	45	0.6	0.6	0.3	6	115	0.2	0.1	0.0	7	185	0.4	0.3	0.0
6	15	3.6	5.8	11.7	5	50	0.2	0.1	0.0	6.5	115	0.2	0.2	0.1	6.5	190	0.3	0.2	0.0
3.5	20	0.4	0.2	0.0	5.5	50	0.5	0.4	0.1	6	120	0.2	0.1	0.0	7	190	0.3	0.2	0.1
4	20	1.1	0.6	0.3	6	50	0.6	0.5	0.2	6.5	120	0.2	0.1	0.1	6.5	195	0.2	0.1	0.1
4.5	20	2.9	2.4	1.1	5	55	0.1	0.1	0.0	6	125	0.1	0.1	0.0	7	195	0.4	0.2	0.1
5	20	3.5	3.6	3.3	5.5	55	0.3	0.2	0.0	6	130	0.1	0.0	0.0	6.5	200	0.2	0.1	0.0
5.5	20	2.6	3.2	4.5	6	55	0.6	0.6	0.5	6.5	130	0.1	0.1	0.0	7	200	0.4	0.2	0.0
6	20	6.0	8.9	13.4	6.5	55	0.1	0.2	0.4	6.5	135	0.1	0.1	0.0	7	205	0.4	0.2	0.1
4	25	0.3	0.2	0.0	5	60	0.1	0.0	0.0	6	140	0.1	0.0	0.0	6.5	210	0.1	0.1	0.0
4.5	25	1.4	1.0	0.5	5.5	60	0.3	0.2	0.0	6.5	140	0.1	0.1	0.0	7	210	0.3	0.2	0.1
5	25	2.2	2.0	0.9	6	60	0.7	0.6	0.4	7	140	0.1	0.1	0.0	6.5	215	0.1	0.1	0.0
5.5	25	1.9	2.1	2.4	6.5	60	0.2	0.3	0.3	6.5	145	0.3	0.1	0.1	7	215	0.3	0.1	0.0
6	25	3.4	4.7	5.6	5.5	65	0.2	0.1	0.0	6	150	0.1	0.0	0.0	7	220	0.2	0.1	0.0
4	30	0.2	0.1	0.0	6	65	0.7	0.7	0.2	6.5	150	0.3	0.2	0.0	7	225	0.1	0.1	0.0

8 Синтезирование обобщенных акселерограмм

В данной работе использован метод генерации расчетной акселерограммы, рекомендуемый Приложением 3 к РБ-06-98. Акселерограмма, соответствующая спектру динамического усиления, может быть записана в виде:

$$a_\beta^0(t) = A\left(t \cdot \sum_{i=1}^{na} B_i \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \right) \quad (7.1)$$

где: A(t)-огибающая (max|A(t)|=1), а фазовые углы φ представляют собой равномерно распределенные в интервале от 0 до 2 π случайные величины.

В качестве первого приближения для B_{i1} используются значения, непосредственно взятые с заданной кривой β (T) для соответствующих значений частот ω_i. Следующее приближение:

$$\beta_{i,2} = B_{i1} \frac{\beta(T)}{\beta_1(T)} \quad (7.2)$$

где: $\beta(T)$-в нашем случае обобщенный спектр динамического усиления, а $\beta_1(T)$-кривая, полученная при первом шаге итерации.

Нужная точность совпадения расчетного спектра с заданным получается после ряда итераций. Для перехода от базовой акселерограммы к расчетной значения первой следует умножить на PGA.

Для построения огибающей использована эмпирическая формула Ф.Ф. Аптикаева:

$PGA_{огиб}(t) = PGA_{макс}\, 3\times t\times d\times/(9\times t^2 - 9\times t \times d + 4\times d^2)$, (7.3)

где: t - время, d - длительность основной фазы колебаний по Ф.Ф. Аптикаеву определяется как интервал времени, в течение которого амплитуда огибающей колебаний превышает 1/2 максимального уровня.

При синтезировании трехкомпонентных акселерограмм необходимо обеспечивать их статистическую независимость. Две акселерограммы считаются статистически независимыми, если абсолютное значение коэффициента корреляции не превышает 0,15.

Значения PGA приняты для горизонтальных компонент одинаковыми, а для вертикальной компоненты 0.7 от горизонтальной.

Всего сгенерированы по пять трехкомпонентных акселерограмм соответствующих обобщенным спектрам реакции периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет. На Рисунок 8.1 - Рисунок 8.3 показаны примеры синтетических акселерограмм и их спектры реакции.

Полученные акселерограммы представлены в формате xls в электронном приложении А. Набор акселерограмм предназначен для дальнейшего использования на стадии СМР, для численного моделирования реакции грунта.

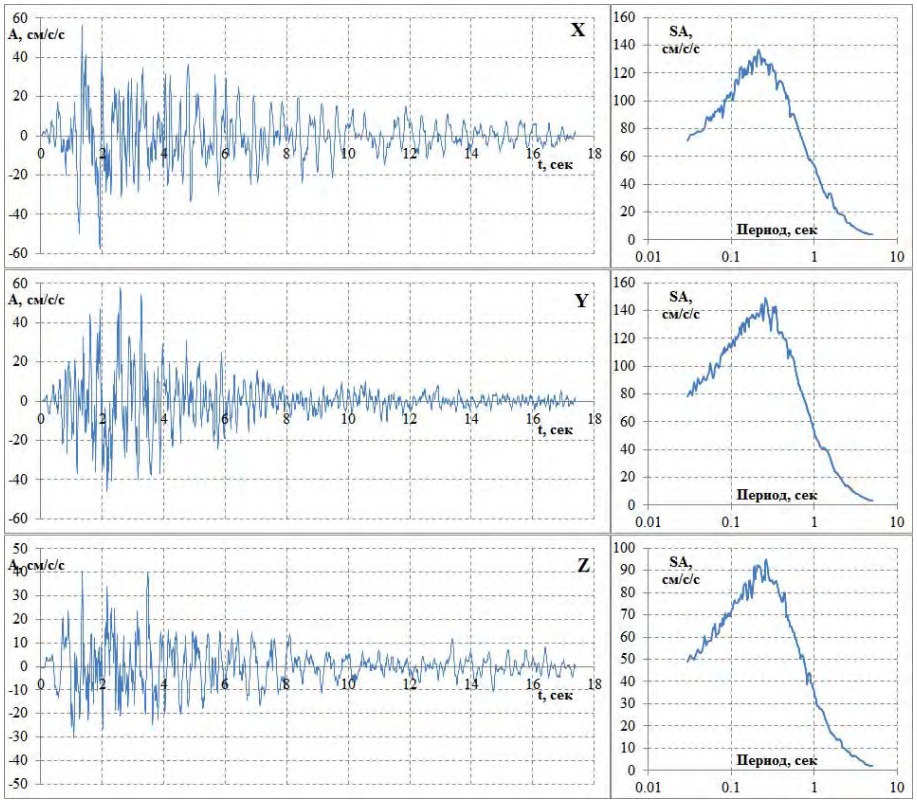


Рисунок 8.1 Синтезированная трехкомпонентная акселерограмма для периода повторяемости сотрясений 500 лет, в привязке к грунтам I категории по сейсмическим свойствам, и соответствующие спектры реакции

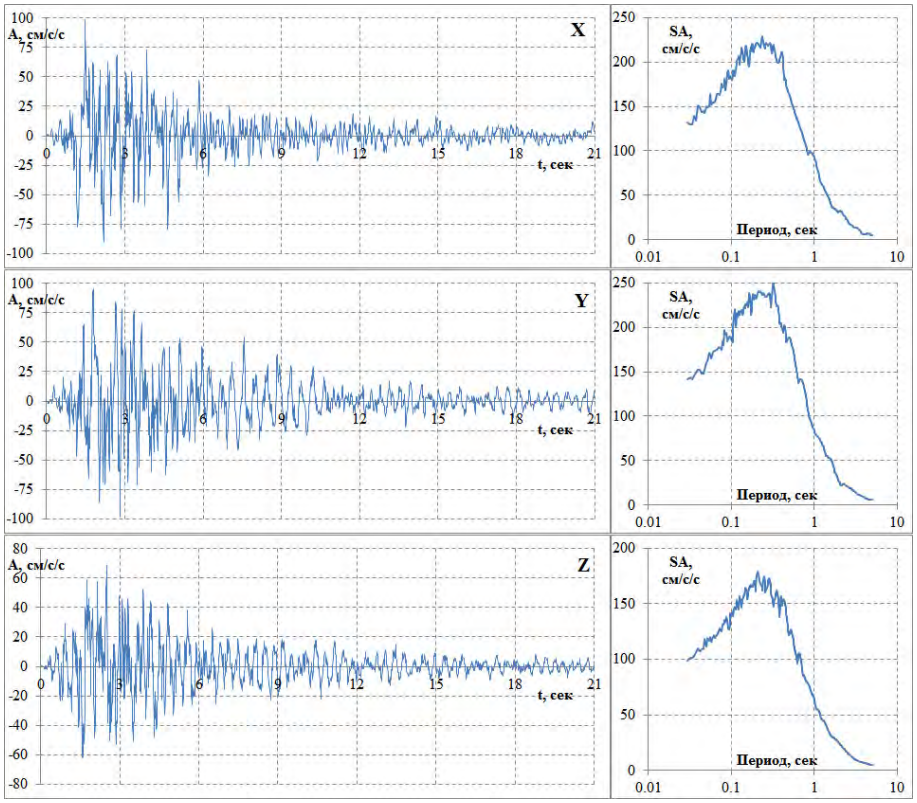


Рисунок 8.2 Синтезированная трехкомпонентная акселерограмма для периода повторяемости сотрясений 1000 лет, в привязке к грунтам I категории по сейсмическим свойствам, и соответствующие спектры реакции

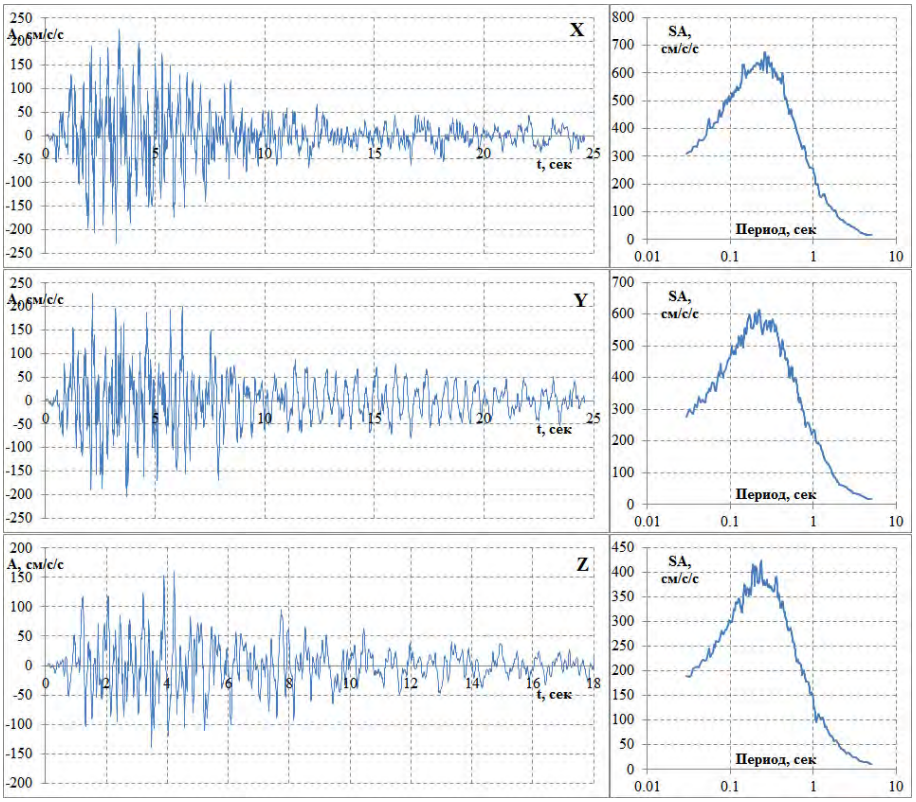


Рисунок 8.3 Синтезированная трехкомпонентная акселерограмма для периода повторяемости сотрясений 5000 лет, в привязке к грунтам I категории по сейсмическим свойствам, и соответствующие спектры реакции

9 Сейсмическое профилирование на преломлённых волнах (МПВ)

Сейсмическое профилирование на преломленных волнах выполнялось с целью получения исходных данных (скоростей поперечных волн) для сейсмического микрорайонирования расчетным методом.

9.1 Аппаратура и методика проведения полевых работ

Метод основан на изучении упругих волн и последующей регистрации отклика среды – волн, отраженных от неоднородностей и границ раздела с различной скоростью распространения в исследуемой среде.

Метод позволяет определить скорости сейсмических волн (продольных Vp и поперечных Vs), которые характеризуют грунты с различным литологическим составом, степенью водонасыщенности. МПВ применятся для расчленения разреза по литологии, определения положения уровня грунтовых вод, а также для определения свойств грунтового основания для решения задач сейсмического микрорайонирования (СМР).

Сейсмическое профилирование МПВ было выполнено следующим образом:

- регистрация сигнала осуществлялась с помощью сейсмостанции «Лакколит X-M4» и комплекта аппаратуры, состоящего из наземной 24-х канальной сейсмической косы с шагом 2 м между приемниками, таким образом длина одной расстановки (одного положения приемной косы) составляла 46 метров;
- выполнено 2 профиля (Рисунок 9.1): 1-й длиной 138 метров (3 расстановки) на абсолютной отметке 201-203 м (Рисунок 9.2) и 2-й длиной 92 м (2 расстановки) на абсолютной отметке ~210 м. (Рисунок 9.3),
- возбуждение колебаний производилось ударами кувалды на удалении 46 метров от первого приемника и последнего приемников и у 1-го, 12-го, 24-го приемников. Таким образом, на каждую расстановку приходилось 5 пунктов возбуждения. Суммарно на 5 расстановок было выполнено 25 пунктов возбуждения или физических точек.

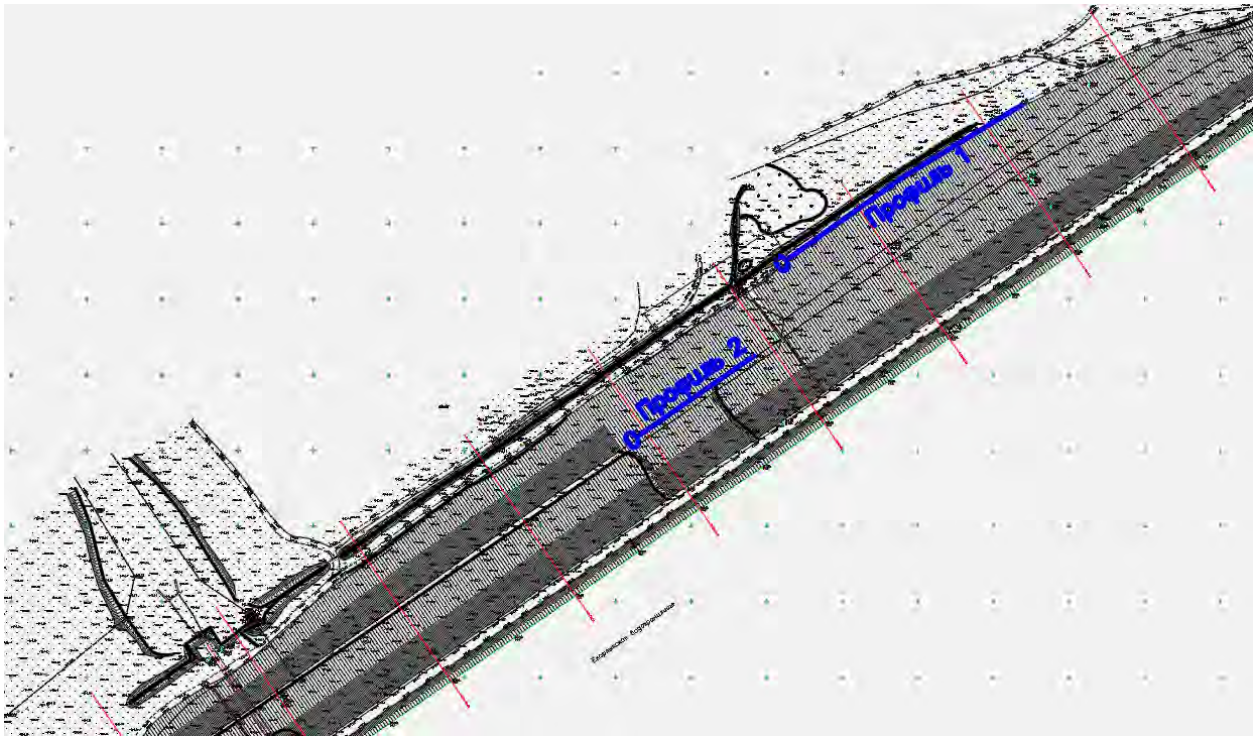


Рисунок 9.1 – Схема расположения сейсмических профилей



Рисунок 9.2 – Профиль на абсолютных отметках 201-203 м.



Рисунок 9.3 – Профиль на абсолютной отметке ~210 м

Конструктивно сейсмостанция «Лакколит X-M4» состоит из двух блоков: блока регистрации (собственно сейсмостанции) и блока управления (персонального компьютера – ноутбука).

Основные технические параметры сейсмостанции «Лакколит X-M4»

1) Число каналов	24
2) Диапазон регистрируемых частот	5 – 4 000 Гц
3) Разрядность АЦП	24
4) Уровень шумов, приведенных к входу	не более 0,25 мкВ
5) Диапазон поканальной регулировки усиления	0-40 дБ
6) Наличие синус-тест-генератора	есть
7) Контроль сейсмической косы	есть
8) Режекторные фильтры на частотах	50, 150,200,250 Гц
9) Время регистрации	192, 384, 768, 1536, 3072, 6144 мс
10) Время задержки регистрации (предзапуска)	от -512 до +512 мс
11) Число отсчетов на канал	до 3072
12) Число накоплений	до 32 000
13) Формат записи	SEG -Y
14) Диапазон рабочих температур	-30 до +50С
15) Питание от встроенного источника	12В
16) Средняя потребляемая мощность	5,5 Вт

9.2 Методика обработки

Обработка и представление данных производилось в программных пакетах Lakkolit, Grapher и ZondSt2d.

Граф обработки сейсмического профилирования на продольных волнах включал в себя:

- Ввод данных.
- Амплитудная коррекция.
- Пикирование первых вступлений продольных волн (Рисунок 9.4-Рисунок 9.5).
- Построение отснятых времен (годографов) в системе координат: положение приемника (x), время (t), увязка полученной системы годографов.
- Анализ годографов: определение количества преломляющих границ, примерная оценка скоростей преломленных волн и глубин границ (Рисунок 9.6) осуществляется для задания максимально точной начальной модели при решении обратной задачи в программе ZondST2D.
- В программе ZondST2D, осуществлялся подбор характеристик среды (скорости упругой волны) таким образом, чтобы невязка между наблюденными годографами и расчетными была минимальна.

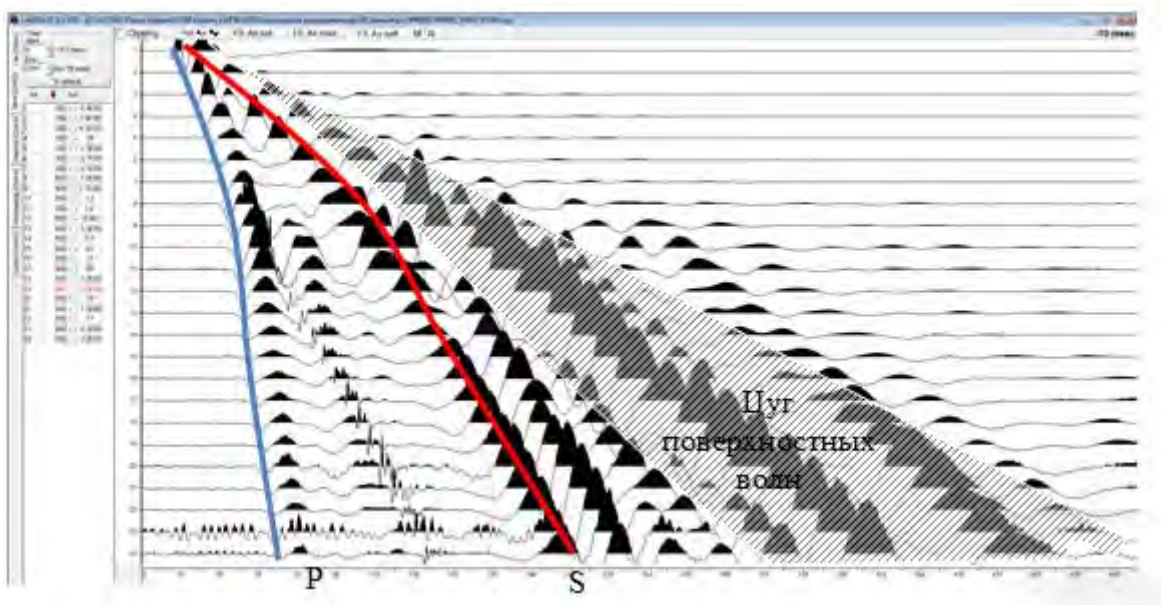


Рисунок 9.4 - Пример сейсмограммы с пропикированными продольными (P) и поперечными (S) волнами при ударе у первого сейсмоприемника

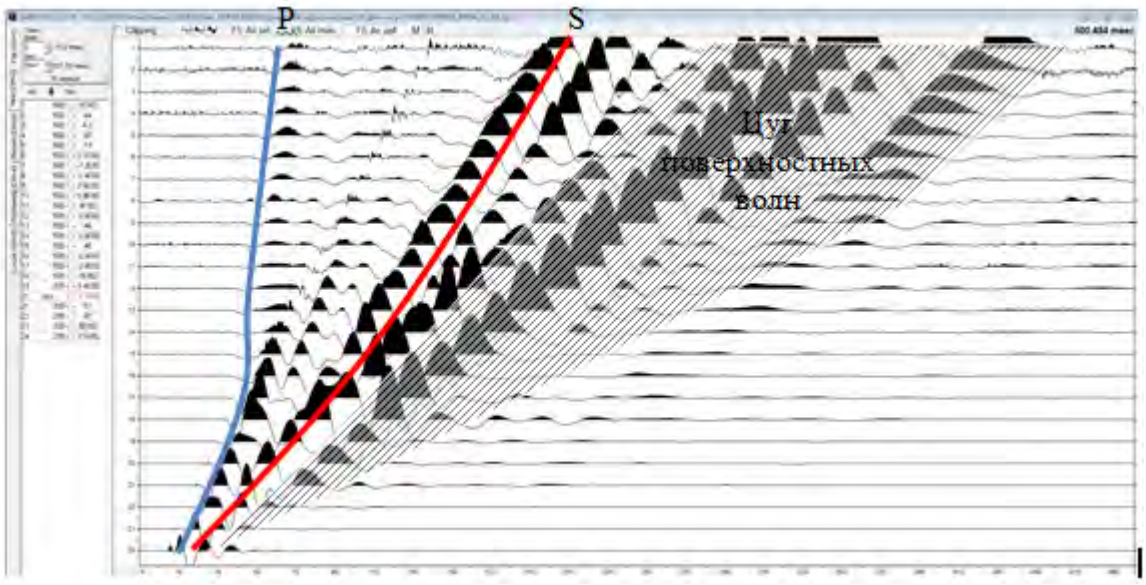


Рисунок 9.5 - Пример сейсмограммы с пропикированными продольными (P) и поперечными (S) волнами при ударе у 24 сейсмоприемника

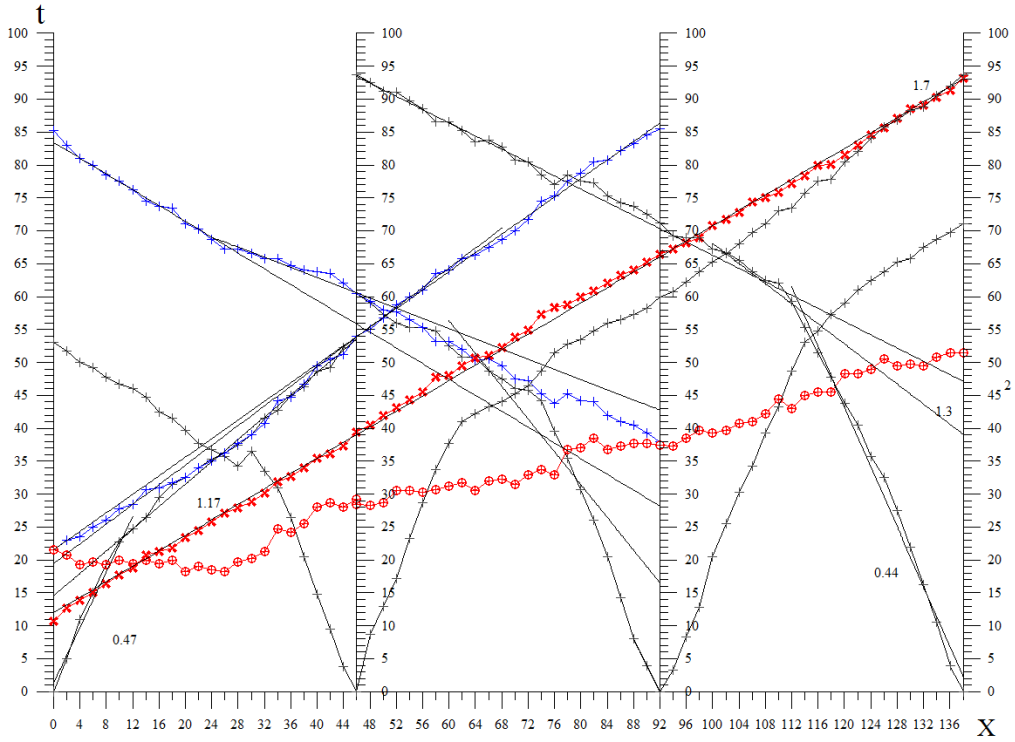


Рисунок 9.6 – Увязанная система годографов для профиля 1

В программе ZondST2D для решения обратной задачи используется метод Ньютона с регуляризацией. Регуляризация повышает устойчивость решения и позволяет получить более гладкое распределение скорости в среде.

$$\left(A^T W^T W A + \mu C^T R C\right)\Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T R C m,$$

где A – матрица частных производных измеренных значений по параметрам разреза (Якобиан), C – сглаживающий оператор, W – матрица относительных погрешностей

измерений, m – вектор параметров разреза, μ - регуляризирующий параметр, Δf – вектор невязок между наблюденными и рассчитанными значениями, R – фокусирующий оператор.

Обработка на поперечных волнах осуществлялась после построения сейсмических разрезов на продольных волнах и проводилась по упрощенной схеме: на сейсмограммах выделялись фазы поперечной волны (Рисунок 9.1-Рисунок 9.2), для выделенных на предыдущих этапах элементах по наклону годографа определялась скорость поперечной волны (Рисунок 9.6), полученные значения заносились в таблицу, где также рассчитывался коэффициент Пуассона.

Поперечная волна выделяется на фоне поверхностной по следующим признакам:

- изменение скорости (наличие преломления) с удалением от пункта возбуждения (поверхностная волна распространяется с более-менее выдержанной скоростью) (Рисунок 9.4-Рисунок 9.5);
- поперечная волна по виду близка к импульсу с экстремумами разной амплитуды, в то время как поверхностные волны представляют собой цуг колебаний высокой амплитуды и низкой;
- в случае работы на скальных грунтах скорость поперечной волны значительно выше чем скорость поверхностной.

Для дополнительного контроля правильности выделения волн по типам, полученный по соотношению скоростей коэффициент Пуассона сопоставляется с коэффициентом Пуассона для данного типа пород по литературным данным [40-43].

9.3 Результаты сейсмического профилирования

Результатами сейсмического профилирования являются скоростные разрезы (Рисунок 9.7-Рисунок 9.8). После сопоставления полученных данных с материалами геологии получены следующие результаты: техногенный грунты (ИГЭ 1) выше уровня грунтовых вод характеризуются скоростью продольных волн (Vp) Vp=0,32-0,43 м/с, скорость поперечных волн (Vs) Vs=0,16-0,19 м/с; на профиле 2 на глубине порядка 1 м происходит возрастание скоростей до Vp=0,74-0,84 м/с и скоростей Vs до Vs=0,30-0,36 м/с, связанное с уплотнением и, возможно, обводнением толщи. В интервале абсолютных отметок 197-199 м выявлена кровля аллювилаьных оложений –глин и гравийных грунтов (ИГЭ 2 и ИГЭ 3), характеризующихся Vp=1,10-1,35 м/с, Vs=0,40-0,50 м/с. На абсолютных отметках 190-193 м происходит возрастание скоростей до Vp=1,60-1,80 м/с, Vs=0,55-0,60 м/с; по геологическим данным на указанных отметках находится кровля коренных глин (ИГЭ 6).

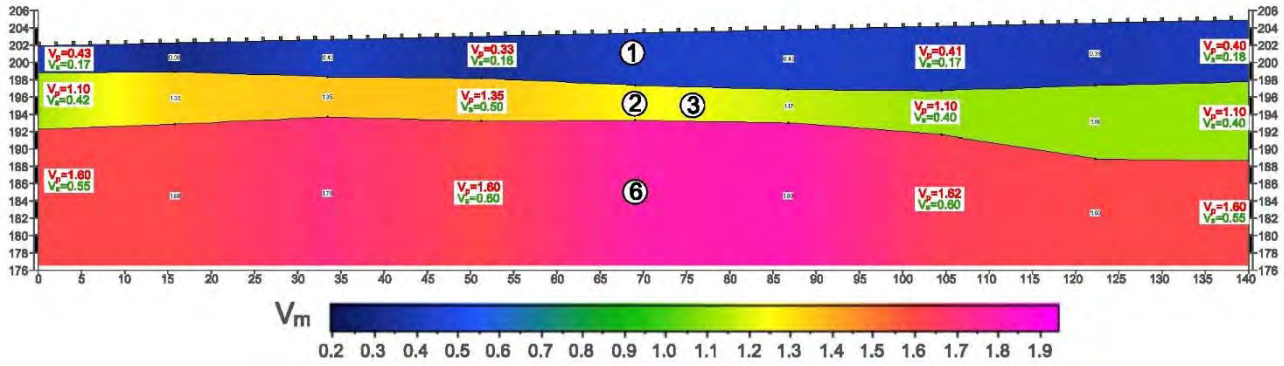


Рисунок 9.7 – Скоростной разрез по профилю 1 (условные обозначения Рисунок 9.9)

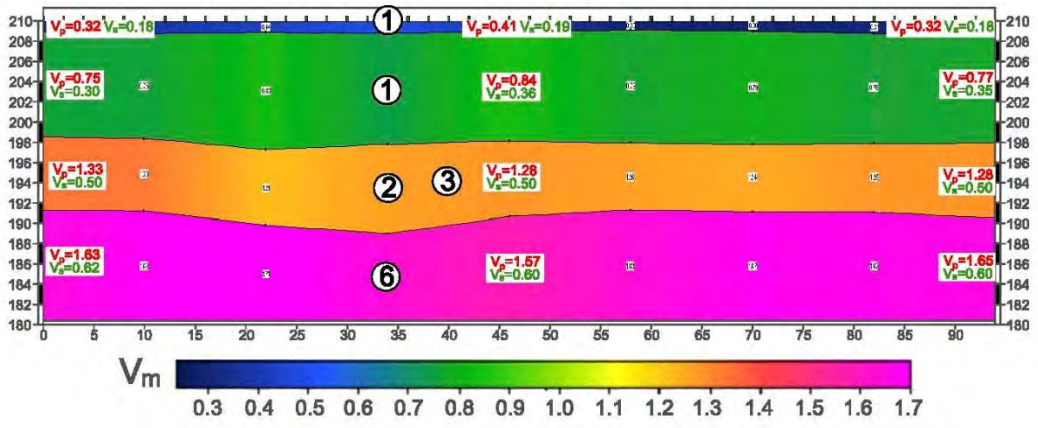


Рисунок 9.8– Скоростной разрез по профилю 2 (условные обозначения Рисунок 9.9)

Условные обозначения:

1 - Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10% с корнями растений, с примесью органических веществ, перемятая, неоднородная

2 - Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с обломками раковин моллюсков, с многочисленными прослоями песка мелкого ожелезненного, часто насыщенного водой, с пятнами иловатости, с гнездами кристаллического гипса, легкая

3 - Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем. В заполнителе песок от средней крупности до крупного, часто насыщенный водой, супеси, суглинки и глины от мягкопластичных до твердых. буро-коричневые, ожелезненные

4 - Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослойками песчаника и известняка, тяжелая

V_p=0.43 - Скорости продольных волн

V_s=0.17 - Скорости поперечных волн

Рисунок 9.9- Условные обозначения к скоростным разрезам

10 Сейсмическое микрорайонирование

10.1 Цели и задачи сейсмического микрорайонирования

Целью работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) является оценка влияния локальных инженерно-геологических и гидрогеологических особенностей строения грунтовой толщи площадки на интенсивность и спектральный состав сейсмических колебаний при землетрясениях.

Согласно п.п. 4.3 - 4.6 СП 358.1325800.2017 при проектировании гидротехнических сооружений, размещаемых в районах с нормативной сейсмичностью Iнорм, равной 6 баллам и более по сейсмической шкале MSK-64, следует выполнять дополнительные требования по обеспечению их безопасности. Для гидротехнических сооружений напорного фронта I и II классов, расчетную сейсмичность Iрасч следует определять инструментальными и расчетными методами. Расчетную сейсмичность площадки гидротехнических сооружений III или IV класса допускается определять по результатам инженерно-геологических и геофизических изысканий. Все ГТС следует рассчитывать на два уровня сейсмических воздействий - максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) и проектное землетрясение (ПЗ).

СМР участка проектируемого защитного сооружения проведено расчетно-эмпирическим методом сейсмических жесткостей.

Метод сейсмических жесткостей для сейсмического микрорайонирования является косвенным расчетным методом оценки площадных вариаций сейсмической интенсивности и традиционно применяется в России для площадок гражданского и промышленного строительства. В соответствии с «Рекомендациями по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства». М.: ПНИИИС. 1985, республиканскими строительными нормами «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. РСН 60-86». М.: Госстрой РСФСР. 1986 и республиканскими строительными нормами «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. РСН 65-87». М.: Госстрой РСФСР. 1987 метод сейсмических жесткостей является обязательным для применения на объектах сейсмического микрорайонирования.

Для оценки изменения сейсмической интенсивности в зависимости от свойств грунтовой толщи с помощью расчетных методов, необходимо располагать сведениями о распределении физических свойств горных пород (скорости распространения сейсмических волн, плотности пород) на площадке. Эти данные получены по результатам инженерно-

геологических и инженерно-геофизических изысканий, проведенных специалистами ЦСГНЭО.

Методика оценки приращений сейсмической интенсивности по методу сейсмических жесткостей подробно описана в РСН 60-86, РСН 65-87 и РСМ ПНИИИС (М. 1985г.).

Приращения сейсмической интенсивности (балльности) рассчитываются в пунктах скважинного опробования и в точках на сейсмогеологических профилях по формуле:

$$\Delta I_{С.Ж.} = 1.67 \cdot \lg\left(\rho_0 V_0 \Big/ \rho_i V_i\right);$$

Где

- $\Delta I_{С.Ж.}$ - приращение сейсмической интенсивности исследуемого участка по сравнению с эталонным участком грунтов за счет изменения средних (до заданной глубины 10-30 м от поверхности или от планировочной отметки) сейсмических жесткостей верхней части грунтовой толщи;.
- $\rho_0 V_0$ - произведение плотности грунта на скорость продольной (поперечной) волны, - средняя сейсмическая жесткость эталонной грунтовой толщи;
- $\rho_i V_i$ - то же на изучаемом участке.

В качестве эталонных грунтов обычно рекомендуется выбирать средние грунты, к которым условно относится величина исходного балла, определенная по карте общего сейсмического районирования территории России. Такими грунтами чаще всего являются наиболее характерные для верхней части разреза необводненные супесчано-суглинистые грунты с включением дресвяно-щебнистого или гравийно-галечникового материала, либо крупно- и среднезернистые песчаные грунты средней плотности, либо близкие по составу грунты, относящиеся ко II категории по сейсмическим свойствам.

Согласно Таблице 8.1 СП 14.13330.2018, средневзвешенные для 30-метровой толщи значения скорости S-волн Vs должны составлять:

для грунтов I категории:

$$Vs > 700 \text{ м/с};$$

для грунтов II категории:

$$Vs = 250 - 700 \text{ м/с};$$

Расчетная мощность грунта должна составлять в дисперсных породах 30 м и более, а при наличии в толще разреза границы слоя с с $\rho^* Vs > 2000$ *г/см*^{3}*м/с* – до границы такого слоя (СП 283.1325800.2016).

10.2 Модели физических свойств геологической среды

Для оценки изменения сейсмической интенсивности в зависимости от свойств грунтовой толщи с помощью расчетных методов, необходимо располагать сведениями о распределении физических свойств горных пород (скорости распространения сейсмических волн, плотности пород) на площадке. Эти данные получены по результатам инженерно-геологических и инженерно-геофизических изысканий, проведенных специалистами ЦСГНЭО (раздел 9). Исследования показали, что слои грунтовой толщи залегают субгоризонтально, но мощность слоев в сейсмогеологическом разрезе не постоянна на площадке строительства.

На основании обобщения инженерно-геологических и инженерно-геофизических данных были выбраны расчетные пикеты, расположенные по центрам сейсморазведочных профилей. Для выбранных расчетных пикетов определены сейсмогеологические модели грунтовой толщи, учитывающие локальные особенности ее строения (Таблица 10.1).

Сейсмогеологические модели, составленные для расчетных пикетов, послужили исходными данными для расчетов частотных характеристик грунтов площадки и сейсмического районирования методом сейсмических жесткостей и методом спектральных характеристик слоистой толщи.

В

Таблица 10.2 приведены строительные координаты расчетных пикетов.

Таблица 10.1 Сейсмогеологические модели грунтовой толщи площадки

Модель	ПР-ПК	ИГЭ	Возраст пород	Литологический состав	Мощность h, м	Плотность ρ, г/см3	Скорость Vs, м/с
M01	1-000	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	3.1	1.97	170
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	6.5	1.97	420
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	550
M02	1-033	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	4.5	1.97	165
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	4.6	1.97	460
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	575
M03	1-052	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	4.9	1.97	160
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	5.0	1.97	500
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам		1.83	600

Мо-дель	ПР-ПК	ИГЭ	Возраст пород	Литологический состав	Мощность h, м	Плотность ρ, г/см3	Скорость Vs, м/с
				ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая			
M04	1-086	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	7.0	1.97	165
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	3.8	1.97	450
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	600
M05	1-104	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	7.6	1.97	170
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	4.8	1.97	400
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	600
M06	1-122	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	7.3	1.97	175
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	8.4	1.97	400
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-		1.83	575

Мо-дель	ПР-ПК	ИГЭ	Возраст пород	Литологический состав	Мощность h, м	Плотность ρ, г/см3	Скорость Vs, м/с
				серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая			
M07	1-138	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	7.3	0	180
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	9.0	0	400
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		0	550
M08	2-000	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	1.1	1.97	180
		1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	10.3	1.9	300
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	7.3	1.91	500
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	620
M09	2-010	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	1.2	1.97	183
		1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	10.4	1.9	315

Мо-дель	ПР-ПК	ИГЭ	Возраст пород	Литологический состав	Мощность h, м	Плотность ρ, г/см3	Скорость Vs, м/с
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	7.1	1.91	500
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	615
M10	2-022	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	1.1	1.97	185
		1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	11.4	1.9	330
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	7.5	1.91	500
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	610
M11	2-034	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	1.3	1.97	188
		1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	10.8	1.9	345
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	8.8	1.91	500
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто		1.83	605

Мо-дель	ПР-ПК	ИГЭ	Возраст пород	Литологический состав	Мощность h, м	Плотность ρ, г/см3	Скорость Vs, м/с
				закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая			
M12	2-048	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	1.1	1.97	190
		1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	10.8	1.9	360
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	7.3	1.91	500
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	600
M13	2-064	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	1.0	1.97	185
		1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	10.9	1.9	355
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	6.7	1.91	500
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	600
M14	2-092	1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	1.4	1.97	180
		1	tQ_{IV}	Насыпной грунт: глина твердая, коричневая, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%	10.5	1.9	350

Мо-дель	ПР-ПК	ИГЭ	Возраст пород	Литологический состав	Мощность h, м	Плотность ρ, г/см3	Скорость Vs, м/с
		2, 3	aQ_{III}	Глина полутвердая и твердая, серо-коричневая, с прослоями серо-зеленой, с включениями гравия и гальки осадочных пород до 10%, с гнездами кристаллического гипса, легкая. Гравийный грунт с песчано-глинистым заполнителем.	7.4	1.91	500
		6	$e(P_3-N_1)mk$	Глина темно-серая до черной, зеленовато-серая, местами голубовато-серая, полутвердая и твердая, трещиноватая, по трещинам ожелезненная, трещины часто закрытые, разноориентированные, с многочисленными прослойками песка мелкого, часто насыщенного водой, с прослоями песчаника и известняка, тяжелая		1.83	600

Таблица 10.2 Строительные координаты расчетных пикетов (моделей)

Модель	Разрезы	X	Y
M01	1-000	2349164.613	4981677.206
M02	1-033	2349191.527	4981696.361
M03	1-052	2349207.021	4981707.375
M04	1-086	2349234.713	4981727.167
M05	1-104	2349250.273	4981737.176
M06	1-122	2349304.396	4981769.976
M07	1-138	2349318.18	4981778.314
M08	2-000	2349065.681	4981560.203
M09	2-010	2349073.888	4981565.873
M10	2-022	2349083.714	4981572.726
M11	2-034	2349093.592	4981579.484
M12	2-048	2349105.091	4981587.496
M13	2-064	2349118.166	4981596.527
M14	2-092	2349141.308	4981612.561

10.3 Сейсмическое микрорайонирование расчетно-эмпирическим методом сейсмических жесткостей

Методика оценки приращений сейсмической интенсивности по методу сейсмических жесткостей подробно описана в РСН 60-86, РСН 65-87 и РСМ ПНИИИС (М. 1985г.).

Приращения сейсмической интенсивности (балльности) рассчитываются в пунктах скважинного опробования и в точках на сейсмогеологических профилях по формуле:

$$\Delta I_{С.Ж.} = 1.67 \cdot \lg\left(\rho_0 V_0 \Big/ \rho_i V_i\right);$$

Где

- $\Delta I_{С.Ж.}$ – приращение сейсмической интенсивности исследуемого участка по сравнению с эталонным участком грунтов за счет изменения средних (до заданной глубины 10-30 м от поверхности или от планировочной отметки) сейсмических жесткостей верхней части грунтовой толщи;.
- $\rho_0 V_0$ – произведение плотности грунта на скорость продольной (поперечной) волны, - средняя сейсмическая жесткость эталонной грунтовой толщи;
- $\rho_i V_i$ – то же на изучаемом участке.

В качестве эталонных грунтов обычно рекомендуется выбирать средние грунты, к которым условно относится величина исходного балла, определенная по карте общего сейсмического районирования территории России. Такими грунтами чаще всего являются

наиболее характерные для верхней части разреза необводненные супесчано-суглинистые грунты с включением дресвяно-щебнистого или гравийно-галечникового материала, либо крупно- и среднезернистые песчаные грунты средней плотности, либо близкие по составу грунты, относящиеся ко II категории по сейсмическим свойствам.

Согласно Таблице 8.1 СП 14.13330.2018, средневзвешенные для 30-метровой толщи значения скорости S-волн *Vs* должны составлять:

для грунтов I категории:

$$Vs > 700 \text{ м/с;}$$

для грунтов II категории:

$$Vs = 250 - 700 \text{ м/с;}$$

Расчетная мощность грунта должна составлять в дисперсных породах 30 м и более, а при наличии в толще разреза границы слоя с $\rho * V_S > 2000$ *г/см*^{3}**м/с* – до границы такого слоя (СП 283.1325800.2016).

По результатам геофизических и инженерно-геологических изысканий и согласно классификации по Таблице 8.1 СП 14.13330.2018, 30-и метровая грунтовая толща исследуемого участка относятся ко II категории по сейсмическим свойствам при диапазоне значений средней скорости S-волн в 30-метровой грунтовой толще от 409 до 500 м/с.

В качестве эталонного грунта, относительно которого рассчитывались приращения сейсмической интенсивности, был принят грунт, характеризующийся скоростью распространения поперечных волн $Vs_{40}=448$ *м/с* и значением сейсмической жесткости $\rho * V_S = 900$ *г/см*^{3}**м/с*. (грунты II категории по сейсмическим свойствам).

Оценка приращений сейсмической интенсивности проводилась для толщи дисперсных грунтов, мощность которых на участке проектирования дамбы составляет в среднем до 30 м.

Приращения сейсмической интенсивности за счет изменения сейсмических жесткостей относительно грунта *II* категории по сейсмическим свойствам для дневной поверхности участка приведены в Таблица 10.3.

Определенные по методу сейсмических жесткостей, приращения балльности для грунтов в естественном состоянии относительно эталонного грунта (грунта II-ой категории) изменяются на дневной поверхности участка от ΔJ= 0.1 баллов до ΔJ=+0.2 баллов.

Таблица 10.3 Приращения балльности за счет различия сейсмических жесткостей относительно грунта II категории по сейсмическим свойствам для дневной поверхности участка

Модель	Профили	ΔI, баллы
M01	1-000	0.1
M02	1-033	0.1
M03	1-052	0.1
M04	1-086	0.2
M05	1-104	0.2
M06	1-122	0.2
M07	1-138	0.2
M08	2-000	0.1
M09	2-010	0.1
M10	2-022	0.1
M11	2-034	0.1
M12	2-048	0.1
M13	2-064	0.1
M14	2-092	0.1
Min		***0.1***
Max		***0.2***

Таким образом, с учетом уточнения исходной сейсмичности и результатов СМР расчетная сейсмичность для неизмененных грунтовых условий на дневной поверхности участка плотины составляет (изменяется в интервалах) в баллах по шкале MSK-64:

– от 6.9 до 7.0 баллов при 10%-й вероятности превышения этих значений в течение 50 лет (при средней повторяемости воздействий 1 раз в 500 лет). Значение используется для расчета на ПЗ.

– от 8.2 до 8.3 баллов при 1%-й вероятности превышения этих значений в течение 50 лет (при средней повторяемости воздействий 1 раз в 5000 лет). Значение используется для расчета на МРЗ.

11 Численное моделирование реакции грунта

11.1 Численное моделирование реакции грунта

Моделирование реакции геологической среды на землетрясения выполняется в программе STRATA, посредством пересчета ансамбля акселерограмм через сейсмогеологические модели на дневную поверхность.

Алгоритм программы состоит в последовательной обработке опций, заданных в командном файле. Это значит, что влияние грунтового разреза можно изучать последовательно, начиная с построения правильной модели разреза, и на каждом следующем этапе добавляя по необходимости все новые требования к вычислениям в командном файле.

Грунтовый разрез описывается как совокупность перечисляемых и нумеруемых сверху вниз слоев, включая полупространство, каждый из которых имеет свои механические параметры. Каждый слой может быть разбит на подслои одинаковой мощности с механическими параметрами своего слоя для выяснения свойств движения на нужной глубине разреза (все расчеты в программе выполнятся для кровли подслоя).

Входное движение были подготовлены на стадии ДСР для уровня рефератного грунта. Нелинейное и неупругое поведение грунта при нагрузках, вызванных сильными движениями, описывается изменением модулей упругости и затухания материалов слоев, отвечающим вызванной деформации. Их значения определяются итеративно посредством приведения максимальной деформации к некоторой однородной для слоя.

11.1.1 Подготовка сейсмогеологических моделей для численного моделирования реакции грунта

Для расчета спектра реакции на исходное сейсмическое воздействие необходимо построить сейсмогеологические модели грунтовой толщи, характеризующие строение районируемой площадки. Модели строятся в следующих предположениях:

- грунтовая толща рассматривается как вязкоупругая среда, залегающая на вязкоупругом полупространстве;
- границы слоев грунта расположены горизонтально;
- сейсмические объемные волны (продольные и поперечные) распространяются вертикально;
- поглощение энергии определяется материальным демпфированием в грунтах.

Построение модели основывается на данных о геометрии разреза, сейсмических жесткостях каждого слоя и кривых деградации, которые для каждого слоя описывают

зависимости изменения модуля сдвига и коэффициента материального демпфирования грунта от деформации сдвига.

Расчет спектров реакции горизонтальной компоненты входного воздействия проводился с учетом нелинейных свойств грунта в рамках эквивалентного линейного моделирования.

Такие зависимости для каждого типа грунта, присутствующего в разрезе, определяются, как правило, в лабораторных условиях с учетом литологического состава и глубины залегания или берутся из литературных источников. Для моделирования были использованы кривые деградации, приведенные на Рисунок 11.1 и в Таблица 11.1.

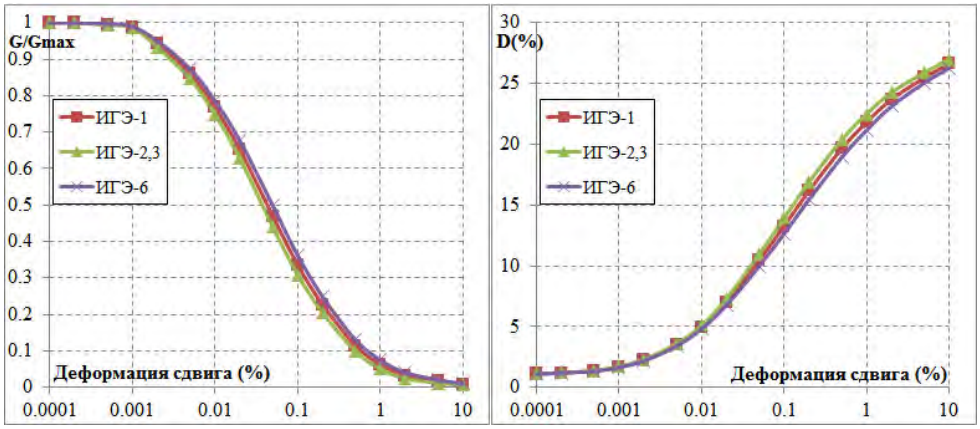


Рисунок 11.1 – Кривые зависимостей модуля сдвига (А) и коэффициента материального демпфирования (Б) от величины сдвиговых деформаций в грунтах.

Таблица 11.1 – Типы грунтов и соответствующие грунты-аналоги, для которых приведены кривые $G/G_{max} = f(\varepsilon)$ и $D = f(\varepsilon)$

№ кривых	Тип грунта	Источник
1	ИГЭ-1	Vucetic-Dobry, 1991
2	ИГЭ-2, 3	Vucetic-Dobry, 1991
3	ИГЭ-6	Vucetic-Dobry, 1991

В таблице и на рисунках ниже показаны подготовленные для моделирования сейсмогеологические модели. Модели составлены по результатам инженерно-геологических изысканий и инженерно-геофизических исследований.

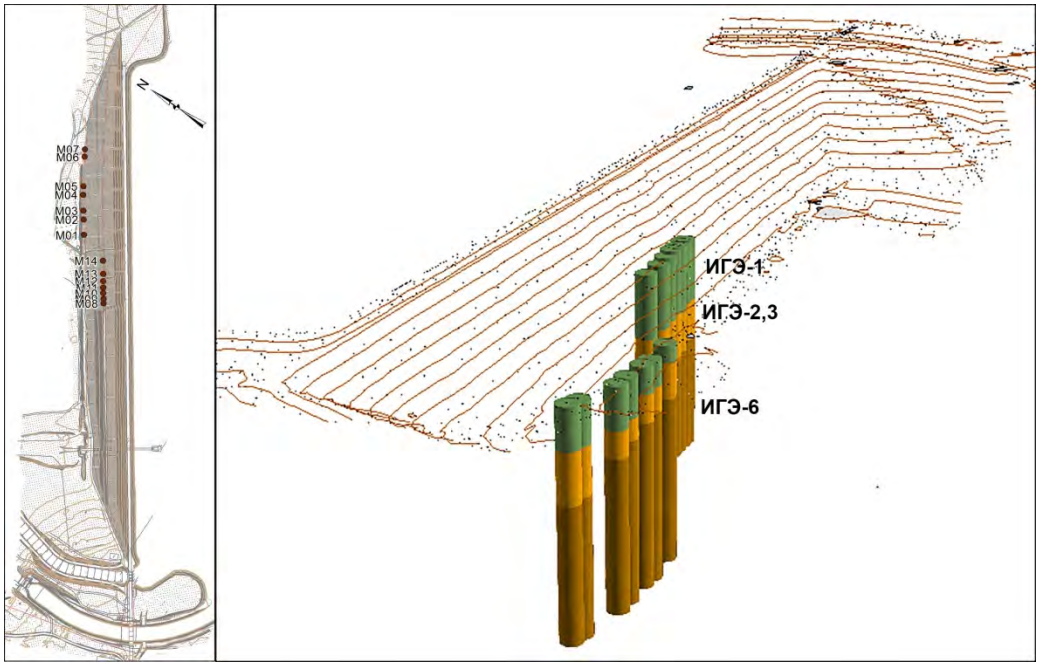


Рисунок 11.2 – Сейсмогеологические модели.

Таблица 11.2 – Сейсмогеологические модели

Модель	ПР-ПК	№ сл.	Залегание			ИГЭ	Пл-ть r,	Ск-ть Vs,	Литологический состав
			от	до	h, м				
M01	1-000	1	0	3.1	3.1	1	1.97	170	Насыпной грунт: глина твердая
M01	1-000	2	3.1	9.6	6.5	23	1.97	420	Глина полутвердая и твердая
M01	1-000	3	9.6	40	30	6	1.83	550	Глина темно-серая до черной,
M02	1-033	1	0	4.5	4.5	1	1.97	165	Насыпной грунт: глина твердая
M02	1-033	2	4.5	9.1	4.6	23	1.97	460	Глина полутвердая и твердая
M02	1-033	3	9.1	40	31	6	1.83	575	Глина темно-серая до черной,
M03	1-052	1	0	4.9	4.9	1	1.97	160	Насыпной грунт: глина твердая
M03	1-052	2	4.9	9.9	5	23	1.97	500	Глина полутвердая и твердая
M03	1-052	3	9.9	40	30	6	1.83	600	Глина темно-серая до черной,
M04	1-086	1	0	7	7	1	1.97	165	Насыпной грунт: глина твердая
M04	1-086	2	7	11	3.8	23	1.97	450	Глина полутвердая и твердая
M04	1-086	3	11	40	29	6	1.83	600	Глина темно-серая до черной,
M05	1-104	1	0	7.6	7.6	1	1.97	170	Насыпной грунт: глина твердая
M05	1-104	2	7.6	12	4.8	23	1.97	400	Глина полутвердая и твердая
M05	1-104	3	12	40	28	6	1.83	600	Глина темно-серая до черной,
M06	1-122	1	0	7.3	7.3	1	1.97	175	Насыпной грунт: глина твердая
M06	1-122	2	7.3	16	8.4	23	1.97	400	Глина полутвердая и твердая
M06	1-122	3	16	40	24	6	1.83	575	Глина темно-серая до черной,
M07	1-138	1	0	7.3	7.3	1	1.97	180	Насыпной грунт: глина твердая
M07	1-138	2	7.3	16	9	23	1.97	400	Глина полутвердая и твердая
M07	1-138	3	16	40	24	6	1.83	550	Глина темно-серая до черной,
M08	2-000	1	0	1.1	1.1	1	1.97	180	Насыпной грунт: глина твердая
M08	2-000	2	1.1	11	10	1	1.9	300	Насыпной грунт: глина твердая
M08	2-000	3	11	19	7.3	23	1.91	500	Глина полутвердая и твердая
M08	2-000	4	19	40	21	6	1.83	620	Глина темно-серая до черной,
M09	2-010	1	0	1.2	1.2	1	1.97	183	Насыпной грунт: глина твердая
M09	2-010	2	1.2	12	10	1	1.9	315	Насыпной грунт: глина твердая
M09	2-010	3	12	19	7.1	23	1.91	500	Глина полутвердая и твердая

Модель	ПР-ПК	№ сл.	Залегание			ИГЭ	Пл-ть r,	Ск-ть Vs,	Литологический состав
			от	до	h, м				
M09	2-010	4	19	40	21	6	1.83	615	Глина темно-серая до черной,
M10	2-022	1	0	1.1	1.1	1	1.97	185	Насыпной грунт: глина твердая
M10	2-022	2	1.1	13	11	1	1.9	330	Насыпной грунт: глина твердая
M10	2-022	3	13	20	7.5	23	1.91	500	Глина полутвердая и твердая
M10	2-022	4	20	40	20	6	1.83	610	Глина темно-серая до черной,
M11	2-034	1	0	1.3	1.3	1	1.97	188	Насыпной грунт: глина твердая
M11	2-034	2	1.3	12	11	1	1.9	345	Насыпной грунт: глина твердая
M11	2-034	3	12	21	8.8	23	1.91	500	Глина полутвердая и твердая
M11	2-034	4	21	40	19	6	1.83	605	Глина темно-серая до черной,
M12	2-048	1	0	1.1	1.1	1	1.97	190	Насыпной грунт: глина твердая
M12	2-048	2	1.1	12	11	1	1.9	360	Насыпной грунт: глина твердая
M12	2-048	3	12	19	7.3	23	1.91	500	Глина полутвердая и твердая
M12	2-048	4	19	40	21	6	1.83	600	Глина темно-серая до черной,
M13	2-064	1	0	1	1	1	1.97	185	Насыпной грунт: глина твердая
M13	2-064	2	1	12	11	1	1.9	355	Насыпной грунт: глина твердая
M13	2-064	3	12	19	6.7	23	1.91	500	Глина полутвердая и твердая
M13	2-064	4	19	40	21	6	1.83	600	Глина темно-серая до черной,
M14	2-092	1	0	1.4	1.4	1	1.97	180	Насыпной грунт: глина твердая
M14	2-092	2	1.4	12	11	1	1.9	350	Насыпной грунт: глина твердая
M14	2-092	3	12	19	7.4	23	1.91	500	Глина полутвердая и твердая
M14	2-092	4	19	40	21	6	1.83	600	Глина темно-серая до черной,

Для проведения расчета из каждой модели было составлено по три командных файла с входными параметрами для расчета воздействий с периодами повторяемости 500, 1 000 и 5 000 лет. Для каждой модели и периода повторяемости проведено по десять модельных расчетов. Всего проведено 420 расчетов.

11.1.2 Пиковые ускорения движения грунта и расчетная интенсивность сотрясений

В результате численного моделирования получены значения пиковых ускорений для грунтовых условий площадки. Расчетные значения PGA для периодов повторяемости 500, 1000, 5000 лет приведены ниже.

Таблица 11.3 – Пиковые ускорения движения грунта (в долях g) осредненные по десяти расчетам. Период повторяемости 500 лет.

СГМ	1		2		3		4		5		ср. PGA
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	83	78	66	75	83	84	74	78	82	74	78
2	90	78	70	77	86	78	80	77	82	69	79
3	98	78	69	78	89	85	80	84	79	86	83
4	114	107	73	94	101	103	113	86	97	92	98
5	113	105	72	92	100	100	113	84	96	95	97
6	110	107	73	89	95	93	105	79	93	91	93
7	111	99	74	83	90	85	100	76	91	84	89
8	82	77	60	63	68	70	74	66	73	66	70
9	86	76	63	69	70	71	86	72	76	65	73

СГМ	1		2		3		4		5		ср. PGA
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
10	83	73	61	71	68	69	82	66	73	62	71
11	77	74	59	61	69	70	73	67	71	65	69
12	75	67	61	61	69	63	70	62	66	59	65
13	77	72	59	60	70	67	74	67	69	64	68
14	77	72	60	60	72	67	72	64	70	65	68

Таблица 11.4 – Пиковые ускорения движения грунта (в долях g) осредненные по десяти расчетам. Период повторяемости 1000 лет.

СГМ	1		2		3		4		5		ср. PGA
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	98	108	127	111	109	99	106	124	109	109	110
2	105	111	121	105	118	98	112	127	118	119	113
3	118	124	117	112	130	111	131	136	126	133	124
4	128	156	167	148	146	118	150	155	132	155	146
5	124	155	167	143	141	123	146	156	133	153	144
6	114	153	168	144	147	130	155	153	128	145	144
7	104	126	150	128	138	125	151	138	126	138	132
8	86	95	106	97	114	99	105	107	105	101	101
9	91	109	122	102	116	106	107	108	98	109	107
10	90	102	115	101	112	103	108	105	101	104	104
11	83	92	106	95	106	97	103	105	96	99	98
12	85	92	104	91	103	91	97	96	94	88	94
13	82	93	102	92	103	92	97	98	93	94	95
14	85	94	105	95	106	95	96	100	97	91	96

Таблица 11.5 – Пиковые ускорения движения грунта (в долях g) осредненные по десяти расчетам. Период повторяемости 5000 лет.

СГМ	1		2		3		4		5		ср. PGA
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	213	275	224	241	270	231	252	227	216	230	238
2	290	327	224	291	272	208	245	237	214	229	254
3	334	274	327	257	366	230	246	294	254	286	287
4	301	244	282	273	286	233	266	312	241	234	267
5	299	245	283	271	283	230	265	310	238	234	266
6	285	258	295	301	277	230	275	282	241	240	268
7	347	269	324	257	303	262	267	324	275	251	288
8	212	238	186	216	246	200	210	185	201	198	209
9	221	232	205	221	253	208	211	199	217	208	217
10	209	231	195	216	247	201	208	187	205	198	210
11	199	217	180	205	239	198	202	181	201	189	201
12	180	219	176	198	220	188	192	183	193	187	194
13	187	215	178	200	236	193	195	179	198	185	197
14	189	220	184	202	230	192	200	186	199	188	199

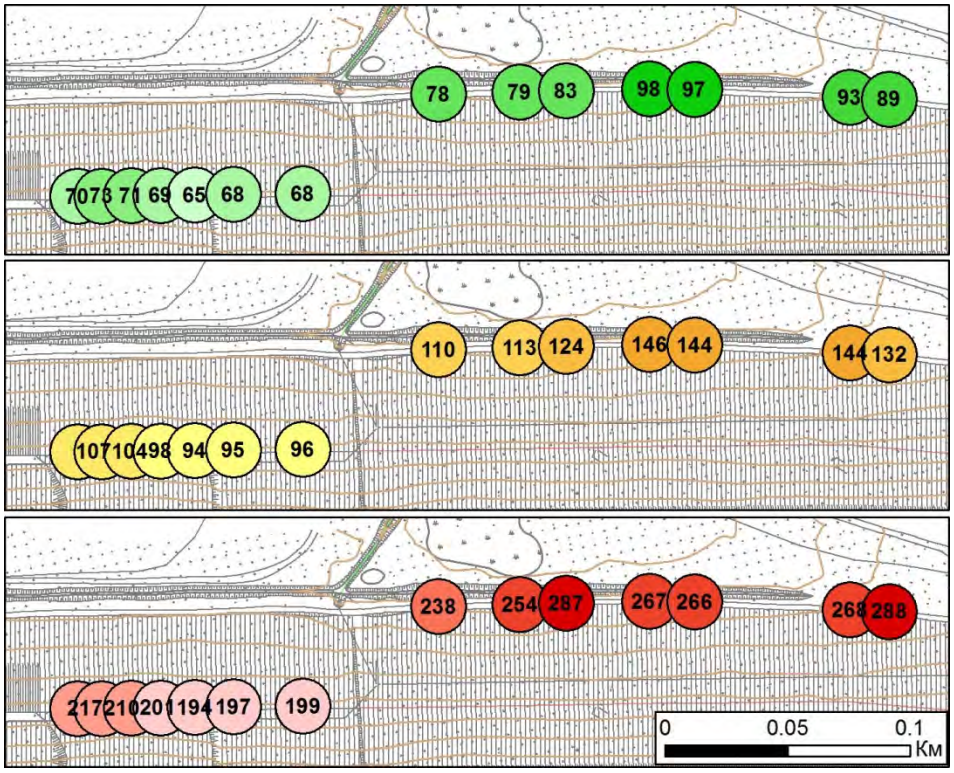


Рисунок 11.3 - Расчетные значения пиковых ускорений PGA (доли g).

Для пересчета в интенсивность далее использовано соотношение 8.1 п 8.5 СП 286.1325800.2016:

$$I=2{,}5 \lg (PGA, см/с^2)+1.25 \lg(d)+1.05, \quad (3.4)$$

где PGA – пиковое ускорение, d – длительность колебаний по Ф.Ф. Аптикаеву. Ниже приведены расчётные значения интенсивности.

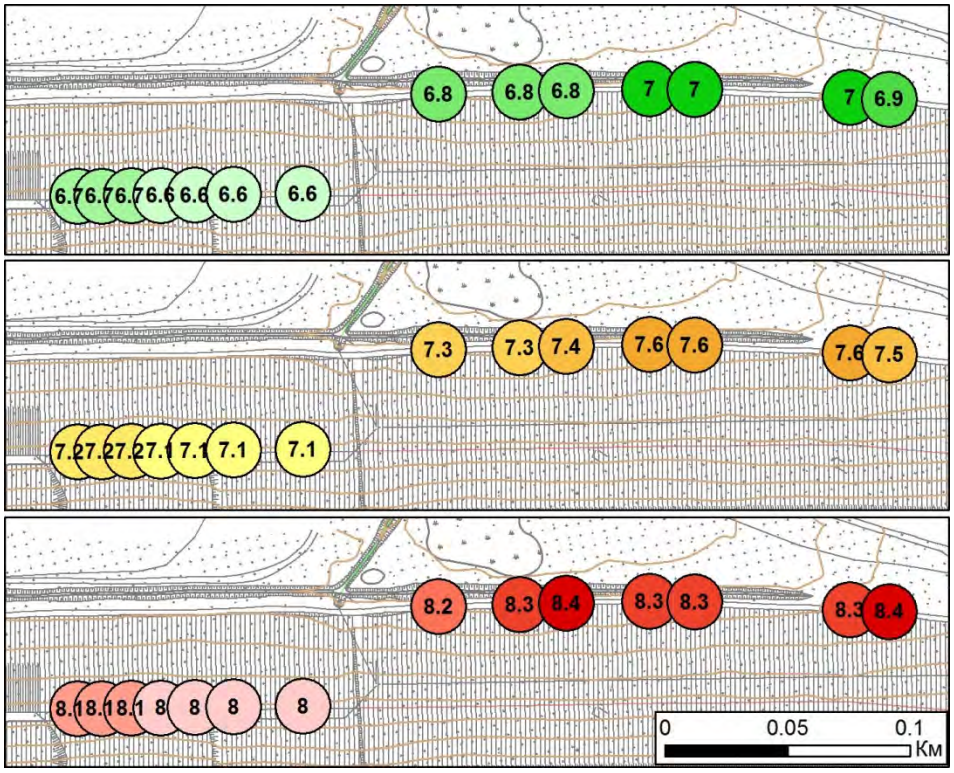


Рисунок 11.4– Расчетные значения интенсивности.

Таблица 11.6 - Расчетные значения интенсивности сотрясений

СГМ	500 лет	1000 лет	5000 лет
1	6.8	7.3	8.2
2	6.8	7.3	8.3
3	6.8	7.4	8.4
4	7.0	7.6	8.3
5	7.0	7.6	8.3
6	7.0	7.6	8.3
7	6.9	7.5	8.4

СГМ	500 лет	1000 лет	5000 лет
8	6.7	7.2	8.1
9	6.7	7.2	8.1
10	6.7	7.2	8.1
11	6.6	7.1	8.0
12	6.6	7.1	8.0
13	6.6	7.1	8.0
14	6.6	7.1	8.0

11.1.3 Расчетные спектры реакции грунтов в основании объектов

Для каждой сейсмогеологической модели получены осредненные спектры реакции по десяти расчетам на трех периодах повторяемости. В качестве расчетного спектра для каждого сооружения принята огибающая осреднённых спектров реакции по всем моделям отнесенным к данному сооружению.

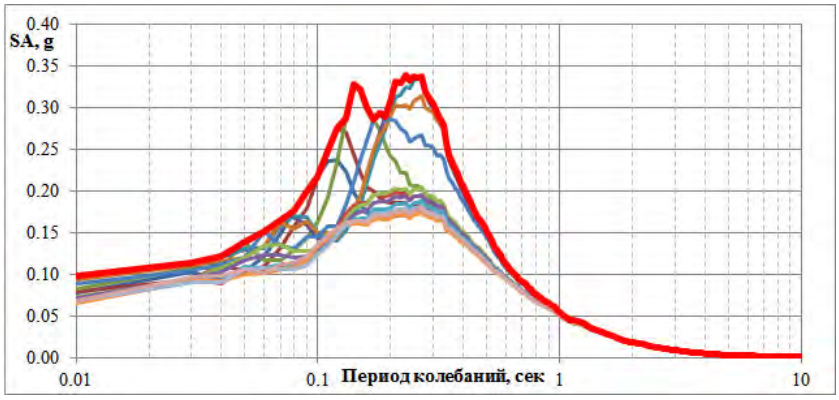


Рисунок 11.5 – Построение расчетных спектров реакции, период повторяемости воздействий 500 лет.

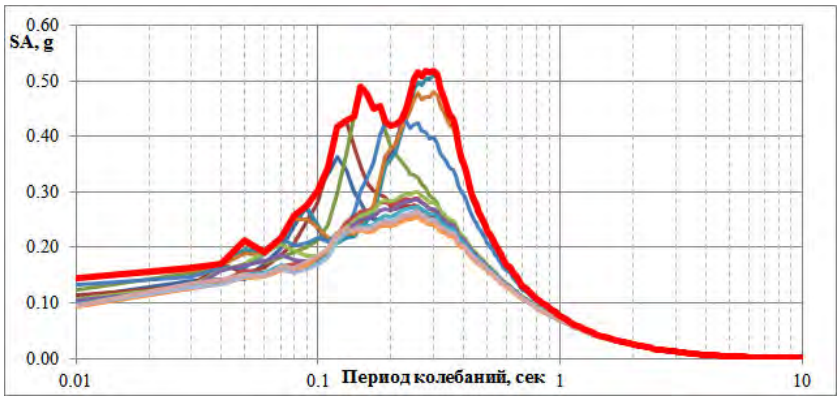


Рисунок 11.6 – Построение расчетных спектров реакции, период повторяемости воздействий 1000 лет.

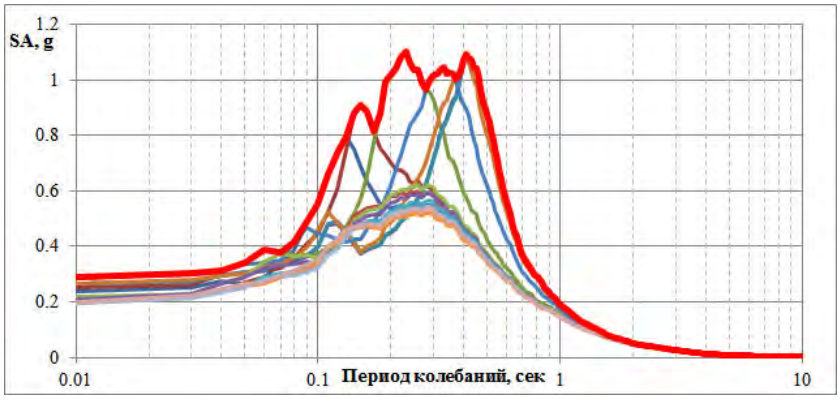


Рисунок 11.7 – Построение расчетных спектров реакции, период повторяемости воздействий 5000 лет.

На основании принятых спектров реакции, для проектируемых зданий синтезированы наборы из пяти трехкомпонентных акселерограмм (электронное приложение) для трех периодов повторяемости воздействий 500 лет, 1000 лет, 5000 лет. В файлах Acceleration_XYZ.xsl приведены акселерограммы в долях g с частотой дискретизации 100 Гц,

в файлах RS_Acc_XYZ.xlsx соответствующие им спектры реакции. Файлы *.spc предназначены для использования в расчетной программе SCAD.

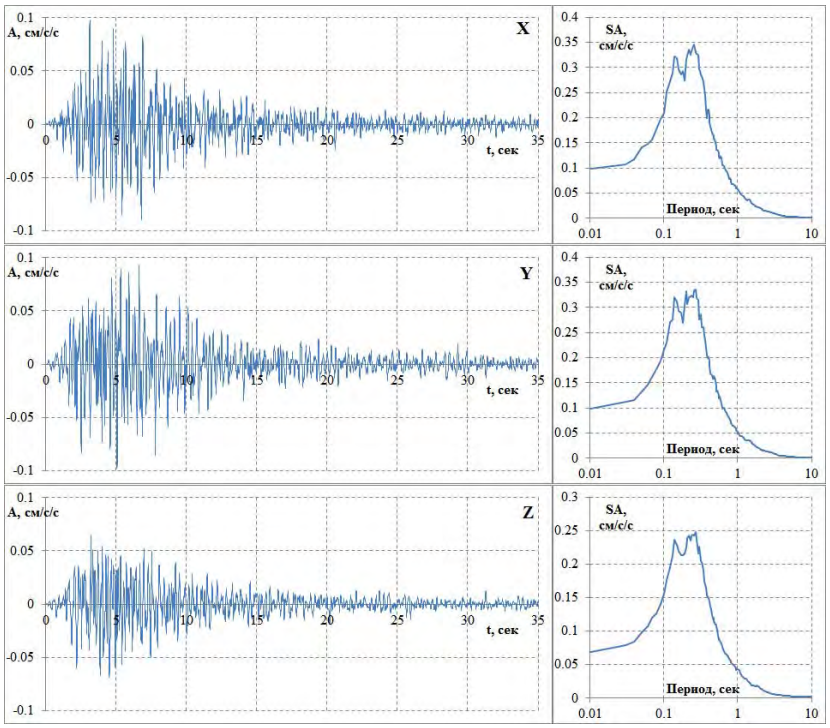


Рисунок 11.8 – Расчетная акселерограмма для площадки Главного корпуса, повторяемость воздействий 500 лет.

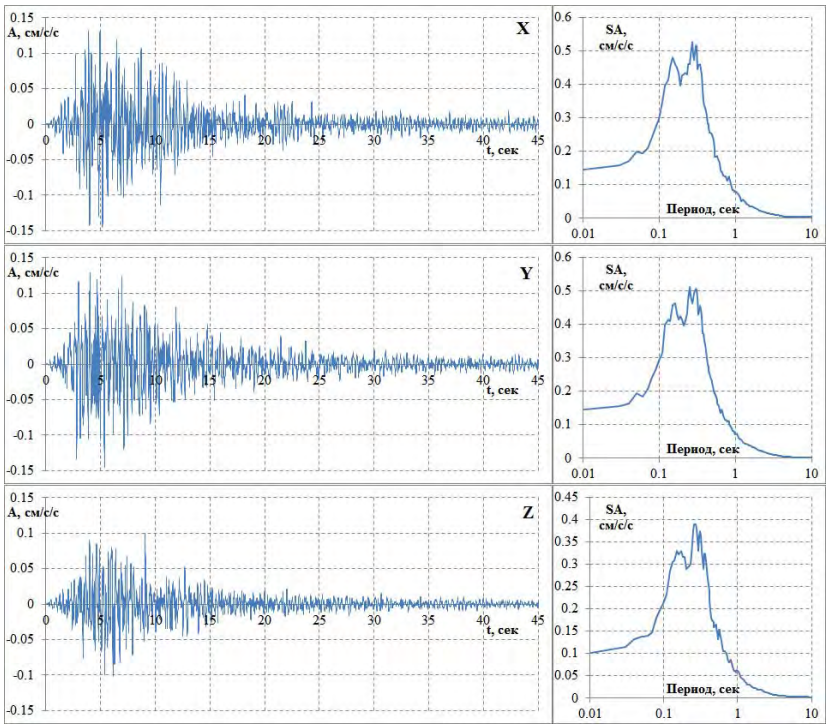


Рисунок 11.9 – Расчетная акселерограмма для площадки Главного корпуса, повторяемость воздействий 1000 лет.

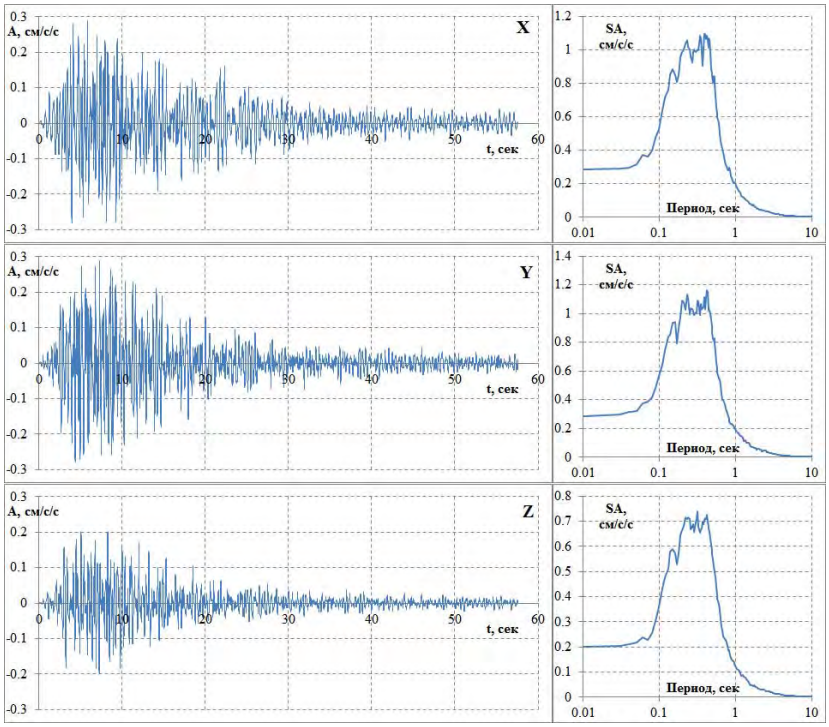


Рисунок 11.10 – Расчетная акселерограмма для площадки Главного корпуса, повторяемость воздействий 5000 лет

11.1.4 Выводы по разделу

На основе данных инженерно-геологических изысканий и результатов сейсморазведки сформированы сейсмогеологические модели (СГМ) для каждого проектируемого сооружения.

Численное моделирование реакции грунта на сейсмические воздействия выполнялось в программе STRATA. Ансамбль входных акселерограмм синтезирован на основе обобщенных спектров реакции, полученных на стадии ДСР для уровня референтных грунтов.

В результате численного моделирования получены оценки пиковых и спектральных ускорений движения грунта в долях g для каждого проектируемого сооружения на площадке:

500 лет		1000 лет		5000 лет	
от	до	от	до	от	до
0.065	0.098	0.094	0.146	0.194	0.288

По результатам численного моделирования расчетная сейсмичность для проектируемых сооружений составила:

500 лет			1000 лет			5000 лет		
доли		балл	доли		балл	доли		балл
от	до		от	до		от	до	
6.6	7.0	7	7.1	7.6	7-8	8.0	8.4	8

Для каждого объекта подготовлен осредненный спектр реакции по результатам анализа набора акселерограмм, и синтезированы трехкомпонентные акселерограммы, соответствующие расчетной сейсмичности с периодами повторяемости 500, 1000, 5000 лет.

12 Расчетные исследования состояния грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища

12.1 Общие сведения об объекте исследования

Плотина Егорлыкского водохранилища находится в Шпаковском районе Ставропольского края (северо-западнее с. Сенгилеевское) в верхнем течении р. Егорлык в 70 км от ее истока.

Длина земляной плотины Егорлыкского водохранилища плотины по гребню 1600 м, максимальная высота 33,0 м, ширина по гребню 6,0 м, отметка гребня плотины 225,0 м. Максимальный напор на сооружение составляет 28,0 м. План грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища представлен на Рисунок 12.1.1.



Рисунок 12.1.1 – План грунтовой русловой плотины Егорлыкского водохранилища

В русле реки Егорлык образовано Егорлыкское водохранилище, являющееся аккумулирующей емкостью суточного регулирования Егорлыкской ГЭС-1. Величина НПУ в водохранилище 222,00 м.

С юго-западной стороны от водохранилища (в левом примыкании) проложен подводящий канал, через который поступает вода к водоприемнику.

Проектное заложение верхового откоса до бермы на отм. 218,0 м 1:3,0. Крепление верхового откоса выполнено железобетонными монолитными плитами 8х12 м, толщиной 0,25 м, по гравийно-песчаной подготовке, толщиной 0,45 м. Низовой откос имеет берму на отметке 210,5 м и переменное заложение 1:2,5, 1:3,5 и 1:5,0, одернован.

Перед плотиной выполнен понур из некачественного глинистого грунта шириной 30,0 м, толщиной 4,0 м.

В основании низовой призмы плотины, на расстоянии 59,75 м от оси, выполнен дренаж из перфорированных труб диаметром 200 мм, по трассе дренажа имеются смотровые колодцы и два водовыпуска. Отметка низа дренажа 202, 0 м, вокруг труб устроен трехслойный фильтр. Для сбора ливневых вод, со стороны низового откоса, выполнен прислонный кювет с каменным мощением.

Качественная насыпь плотины представлена глинами твердой и полутвердой консистенции, обладающими специфическими свойствами: набухаемостью, присутствием примесей органических веществ, включением кристаллов гипса, комков почвы, прослоев песка, обломков строительного мусора.

Основание плотины служат современные аллювиальные отложения, представленные глинами и тяжелыми глинами твердой и полутвердой, местами тугопластичной консистенции, с редкими включениями гравия и гальки, а также прослойками песка и известняка.

Русло реки (в районе ПК 13) было засыпано качественной насыпью, сверху отсыпано тело плотины.

В геоморфологическом отношении на участке ПК 4+40 – ПК 5+50 грунтовая плотина расположена на поверхности надпойменной террасы р. Б. Егорлык (абс. отм. 221,62-222,70 м) сложенной верхнечетвертичными аллювиальными отложениями, представленными глинами и песками.

На участке ПК5+50-ПК5+90 тело плотины сопряжено с коренным склоном (левое примыкание), сложенным элювиальными майкопскими глинами.

На участке ПК5+90 ПК14+20 грунтовая плотина расположена на пойме р. Б. Егорлык (абс.отм. 198,09-200,69 м). Пойма реки сложена современными аллювиальными отложениями, представленными в верхней части разреза глинами, а в нижней части разреза гравийными грунтами с песчано-глинистым заполнителем.

На участке ПК14+20 – ПК15+00 тело плотины сопряжено с коренным склоном (правое примыкание), сложенным элювиальными майкопскими глинами.

На участке ПК15+00 – ПК15+85 грунтовая плотина находится на поверхности первой надпойменной террасы р. Б. Егорлык, сложенной верхнечетвертичными аллювиальными отложениями, представленными в верхней части разреза глинами, в нижней части разреза песками мелкими.

На ПК6+80 Егорлыкской земляной плотины расположен башенный водовыпуск Егорлыкского водохранилища, башенный водосброс выведен из работы, в трубе со стороны нижнего бьефа выполнена бетонная пробка.

Земляная плотина Егорлыкского водохранилища относится к сооружениям II класса. По поверхности плотины проходит автомобильная дорога.

Фоновая сейсмичность района по шкале MSK 7 баллов при повторяемости в 500 и 1000 лет и 8 баллов при повторяемости в 5000 лет согласно СП 14.13330.2018.

12.2 Исходные данные для расчетных исследований

Расчетные исследования состояния земляной плотины Егорлыкского водохранилища выполнены в программных комплексах PLAXIS 2D, ПК SEISMIC.

Расчетная модель профиля гребня и низового откоса плотины построена по результатам топографической сьемки Егорлыкского водохранилища, выполненной в 2018 г. [44] Очертания верхового откоса расчетных моделей выполнено по проектным данным с учетом изменения проектных решений конструкции земляной плотины [45].

Геологический профиль расчетной модели построен по результатам инженерных изысканий, выполненных в различные годы [45,46]. Общий вид расчетной модели земляной плотины Егорлыкского водохранилища и ее основания на ПК 10+00 приведен на рисунке 12.2.1.

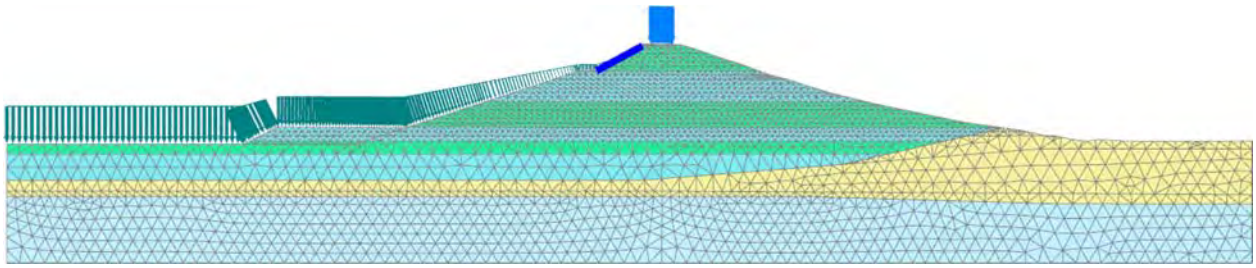


Рисунок 12.2.1 – Общий вид расчетной модели ПК 10+00

В расчетных исследованиях учитывалось воздействие автотранспорта на гребень плотины путем приложения к гребню сооружения равномерно распределенной нагрузки интенсивностью 50 кН/м.

Фильтрационный режим в теле и основании земляной плотины моделировался на основании результатов фильтрационного расчета, откалиброванного по материалам натурных наблюдений.

Расчетные физико-механические характеристики грунтов тела и основания грунтовой плотины приняты по результатам изысканий, выполненных в 2021-2022 гг. [45,46] и представлены в таблице 12.2.1.

Расчётные исследования грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища выполнены на основное и особое сочетание нагрузок. В ходе исследования рассмотрено три расчетных случая:

- первый (основное сочетание): НПУ 222,00 м;
- второй (особое сочетание): НПУ 222,00 м, сейсмическое воздействие уровня ПЗ (500 лет);
- третий (особое сочетание): НПУ 222,00 м, сейсмическое воздействие уровня МРЗ (5000 лет).

При расчётах устойчивости поперечного профиля грунтовой плотины учитывалось крепление верхового откоса железобетонными монолитными плитами 8х12 м, толщиной 0,25 м, по гравийно-песчаной подготовке, толщиной 0,45 м. Низовой откос имеет берму на отметке 210,5 м и переменное заложение 1:2,5, 1:3,5 и 1:5,0, одернован.

Расчетные исследования при особом сочетании нагрузок выполнены с учетом сейсмического воздействия, полученного по результатам детального сейсмического районирования плотины Егорлыкского водохранилища методом вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО).

Сейсмическое воздействие в расчетных исследованиях принято по синтезированным наборам акселерограмм для периодов повторяемости 500 лет (ПЗ) и 5000 лет (МРЗ), полученным в ходе сейсморайонирования грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища в 2022 году. На рисунках 12.2.2, 12.2.3 представлены акселерограммы используемые в расчетных исследованиях.

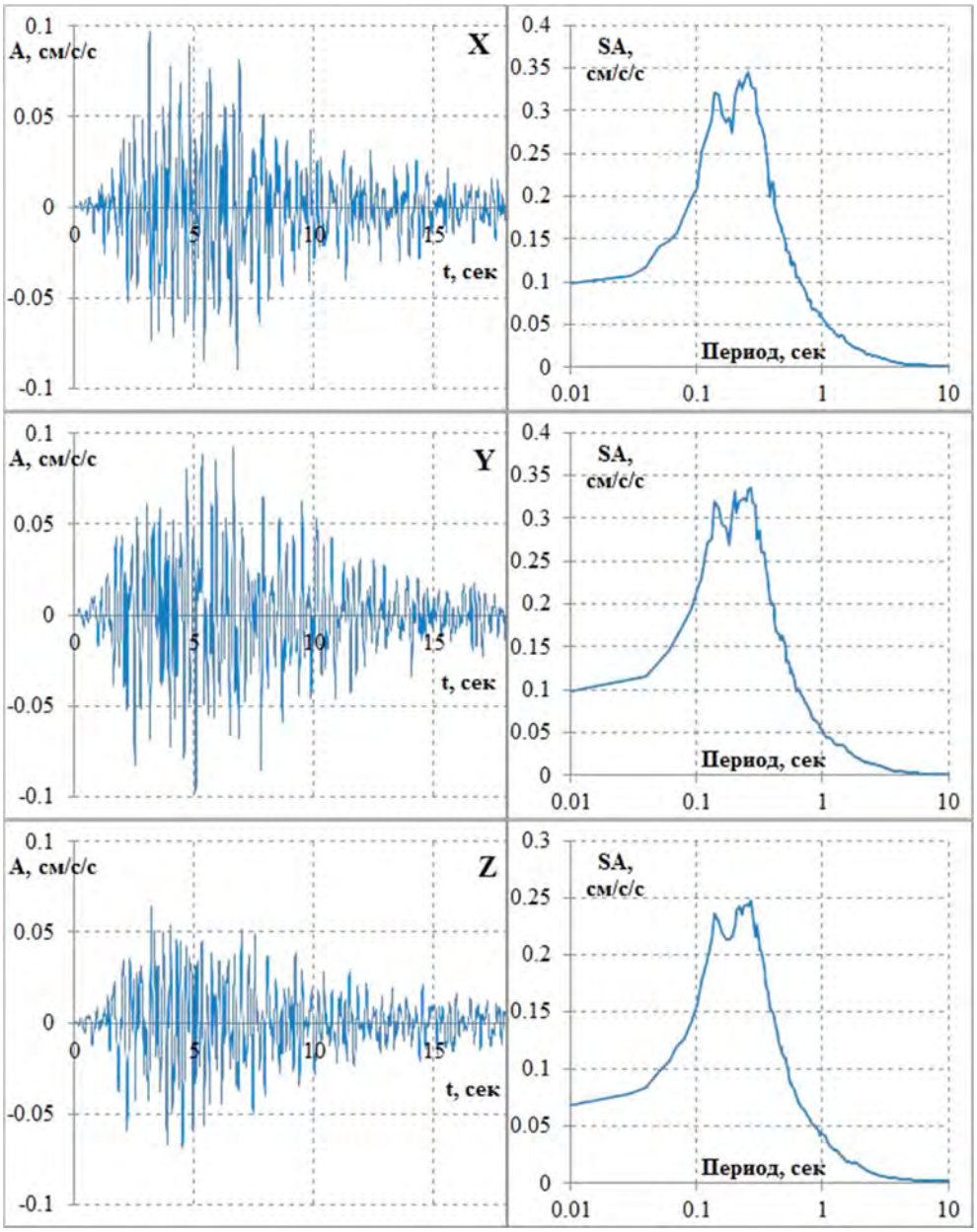


Рисунок 12.2.2 – Расчетная акселерограмма землетрясения уровня ПЗ

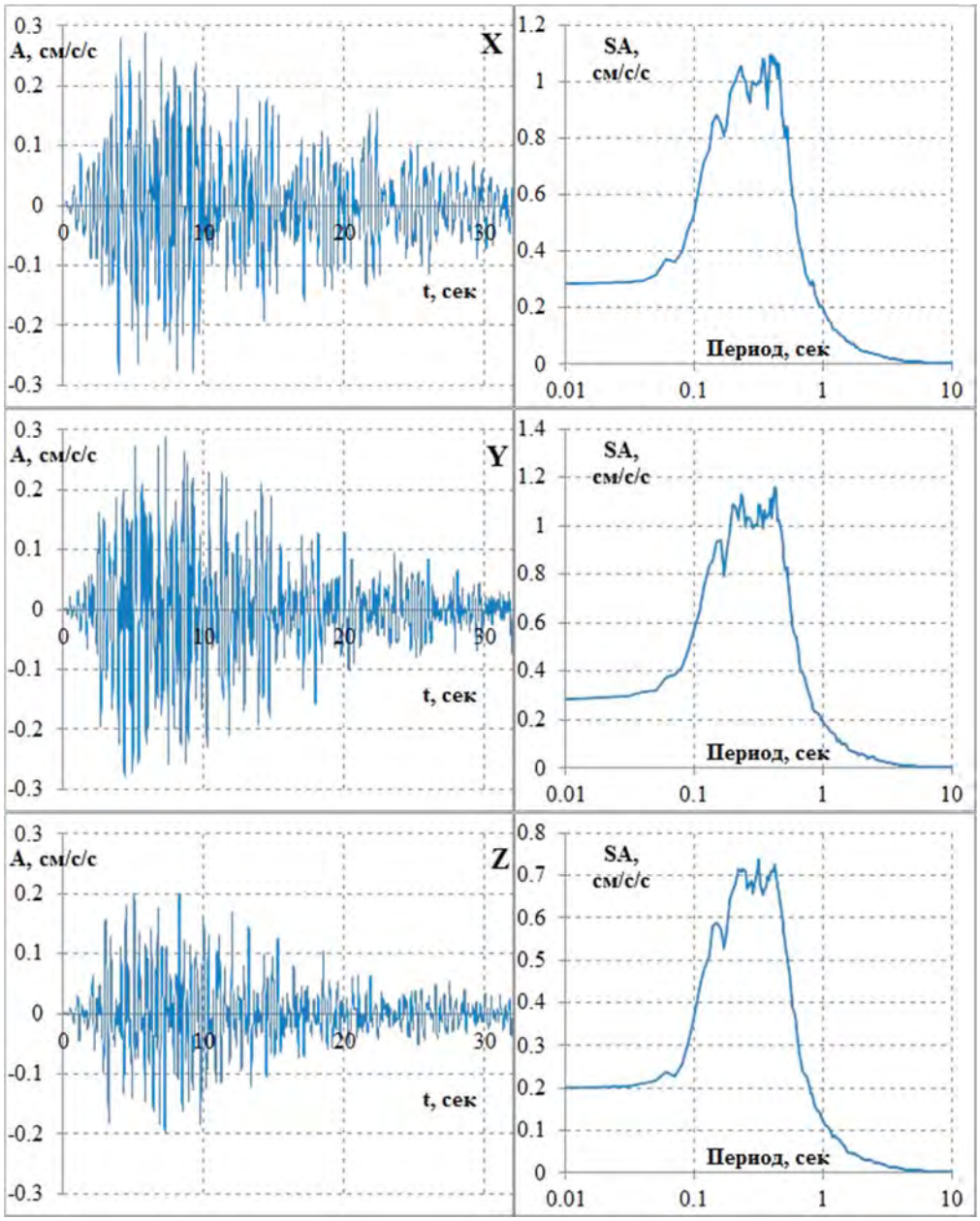


Рисунок 12.2.3 – Расчетная акселерограмма землетрясения уровня МРЗ

В целях верификации результатов расчетов грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища ПК 10+00 расчетные исследования выполнены в двух программных комплексах.

Таблица 12.1.1 Расчетные физико-механические характеристики грунтов тела и основания плотины Егорлыкского водохранилища (ПК 6+00, ПК 11+00)

ИГЭ	Наименование грунта	ρ, г/см^3	$\rho_{вод}$, г/см^3	Коэф. пористости e, д.е.	Сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, °	Модифицированный индекс сжимаемости, λ	Модифицированный индекс разуплотнения, k	Коэффициент вторичной консолидации, c_α	Модифицированный коэффициент ползучести, μ	ψ, °	OCR
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
1а	Глины легкие пылеватые твердой и полутвердой консистенции светло-оливкового цвета	2,00	2,06	0,647	51	17	0,041	0,007	$3,3*10^{-3}$	$8,5*10^{-4}$	0,1	1,188
1б	Глины легкие пылеватые твердой и полутвердой консистенции темно-оливкового цвета	2,01	2,06	0,685	33	19	0,040	0,008	$2,0*10^{-3}$	$5*10^{-4}$	1,1	1,313
2	Глины легкие пылеватые преимущественно полутвердой консистенции оливкового цвета	1,93	1,99	0,787	47	16	0,042	0,007	$1,9*10^{-3}$	$4,5*10^{-4}$	1,2	1,500
5	Глины тяжелые твердые темно-серого цвета	1,89	1,91	0,909	95	13	0,044	0,008	$1,7*10^{-3}$	$3,8*10^{-4}$	1,2	0,983

12.3 Теоретические основы расчетной методики

Методика расчетов грунтовых сооружений в программном комплексе PLAXIS 2D.

Для расчета напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) системы «сооружение-основание» необходимо иметь:

- инженерно-геологические условия площадки размещения объекта;
- гидрогеологические условия площадки размещения объекта;
- расчетные параметры грунтов основания;
- конструктивные особенности исследуемого объекта;
- геомеханическую конечно-элементную модель грунтового массива;
- математическую модель грунтов, слагающих рассматриваемый массив с учётом поэтапности их нагружения.

В соответствии с п. 9.14 СП 39.13330.2012 при расчете устойчивости грунтовых плотин гидротехнических сооружений необходимо учитывать их напряженно-деформированное состояние.

Для плотин в расчетах НДС следует применять нелинейные модели, учитывающие пластические деформации грунта в предельном состоянии согласно СП 39.13330.2012. С этой целью рекомендуется применять специализированные программные комплексы, в которых на базе универсальных численных методов реализована возможность расчета с учетом специфических для геотехнической задачи теорий прочности. При этом расчетом должны выполняться условия первого и второго предельных состояний.

Выбранная методика расчета, а также модель поведения грунта должны обеспечивать необходимую и достаточную точность результатов при определении НДС. Для моделирования грунтового основания, необходимо учитывать только те скважины, которые находятся в зоне строительства.

При определении НДС численными методами принимаются допущения при создании расчетной схемы, которая должна отражать действительную работу конструкции на каждом этапе строительства. При задании расчетной схемы должны быть учтены:

- размеры расчетной области, необходимые для корректного формирования НДС;
- геометрические параметры конструкций;
- неоднородность грунтового основания;
- свойства материалов конструкций и грунтов;
- особенности взаимодействия конструкций с грунтовым массивом;

– характер работы конструкций;
– поэтапное возведение сооружения

В последние годы для решения прикладных задач в механике грунтов используются преимущественно численные методы расчёта НДС оснований и фундаментов, в том числе метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных разностей (МКР) и метод граничных элементов (МГЭ).

В данной работе был принят МКЭ, так как он позволяет учитывать неоднородность основания плотины, нелинейные свойства и деформации грунтов при статическом и сейсмическом воздействиях.

Известно, что при решении задач МКЭ сплошная область рассматривается как совокупность конечного числа элементов. В данной работе были использованы треугольные конечные элементы, которые позволяют моделировать любые пространственные задачи с достаточной степенью точности.

В данном расчетном исследования применялись модели описывающие поведение грунта: модель слабого грунта с учетом ползучести (*Soft Soil Creep (SSC)*).

Основные характеристики модели ползучести слабого грунта *(SSC)* включают в себя:

– Зависимость жесткости от напряжений (логарифмическое сжатие);
– Различие между первичным нагружением и разгрузкой / повторным нагружением;
– Вторичная (зависящая от времени) консолидация;
– Выдерживание напряжения предварительного уплотнения;
– Разрушение в соответствии с критерием Мора-Кулона.

В общем случае, модель ползучести слабых грунтов требует задания следующих параметров:

- Параметры разрушения, как у модели Мора-Кулона:

c - эффективное сцепление,

φ - угол трения,

ψ - угол дилатансии,

- Основные параметры жесткости:

κ^* - модифицированный коэффициент разбухания,

λ^* - модифицированный коэффициент сжимаемости,

μ^* - модифицированный коэффициент ползучести.

Для определения расчетных фактических коэффициентов устойчивости используется расчет *Safety*, при котором последовательно уменьшаются прочностные характеристики грунтов (угол внутреннего трения, сцепление и сдвиговая прочность) до тех пор, пока не произойдет разрушение. Коэффициент устойчивости определяется как отношение фактической прочности к прочности при разрушении.

Коэффициент устойчивости в программном комплексе PLAXIS 2D определяется по наиболее опасной поверхности скольжения.

Несущая способность грунтов основания проверяется программным комплексом в соответствии с критериями прочности, заложенными в грунтовой модели (в случае, если нагрузка на основание превышает несущую способность основания, программа показывает неограниченные пластические деформации, которые приводят к возникновению ошибок, остановке расчета и невозможности выдачи результатов) и условие первого предельного состояния выполняется для всего основания комплекса.

Методика расчета сейсмостойкости грунтовых плотин, реализованная в программном комплексе ПК SEISMIC заключается в следующих положениях [47]:

- землетрясение протекает на фоне статической работы конструкции;
- динамическая реакция сооружения на внешнее сейсмическое воздействие определяется как упругая реакция, определенная в ходе решения динамической задачи в расчете на акселерограмму;
- пульсации динамических напряжений и сейсмических ускорений в узлах и элементах плотины рассматриваются как путь нагружения для элементов конструкции сооружения при землетрясении;
- упругопластическое поведение материала сооружения при землетрясении в условиях действия сейсмических нагрузок на фоне статического напряженно-деформированного состояния плотины описывается «энергетической» моделью грунта профессора Л.Н.Рассказова [48];
- реализация упруго-пластических деформаций протекает в виде накопления остаточных перемещений в узлах расчетной конструкции, которые к концу землетрясения представляют собой перемещения, величина которых оценивается согласно принятым критериям безопасности;
- деформации ползучести развиваются на этапах после окончания действия самого землетрясения.

Решение задачи сейсмостойкости плотины в представленной работе строится на основе объединения динамического метода решения уравнений вынужденных колебаний плотины при внешнем воздействии, заданном в виде акселерограммы и уравнений физического состояния грунта. Динамическая задача решается на основе МКЭ с целью определения функции пульсации сейсмической нагрузки, действующей на сооружение при землетрясении. Процесс динамического нагружения материала протекает на фоне статической работы конструкции, поэтому первым шагом в решении поставленной задачи является определение напряженно-деформированного состояния (НДС) плотины на момент начала землетрясения.

Нелинейный характер деформирования грунтовой среды под действием расчетных нагрузок определяется на основе метода локальных вариаций согласно принятой «энергетической» модели грунта проф. Рассказова Л.Н., описывающей упругие и вязкопластические деформации грунта.

В основе энергетической модели грунта лежит энергетическое условие прочности:

$$U_0 + \int_L \sigma(t)\, de(t) = \int_L S_{mn}(t)\, d\varepsilon_{mn}(t) \qquad (12.3.1)$$

где U_0 - энергия связности грунта;

$\sigma(t)$ - среднее напряжение

$e(t)$ - объёмная деформация

$S_{mn}(t)$, $\varepsilon_{mn}(t)$ - компоненты девиаторов напряжений и деформаций

L - параметры пути нагружения.

Исходя из (12.3.1), коэффициент запаса прочности грунта записывается соотношением:

$$K_з = \frac{U_0(t) + \int_{L1} \sigma(t) de(t)}{\int_{L2} S_{mn}(t) d\varepsilon_{mn}(t)} \qquad (12.3.2)$$

Для удобства в модели используется коэффициент относительной прочности:

$$K_н(t) = \frac{K_з(t) - 1}{K_з(t)} \qquad (12.3.3)$$

$K_н$ изменяется от 1.0 (всестороннее сжатие) до 0.0 (предельное состояние). Он выступает в модели в роли параметра упрочнения и обеспечивает учёт пути нагружения на деформируемость грунта и характеризует состояние грунта по отношению к предельному. Через него в модели выражается зависимость приращений деформаций формоизменения (сдвиговых деформаций) от приращений девиатора напряжений на участке активного

нагружения, при разгрузке предполагается работа материала в упругой постановке. Изменение параметра относительной прочности грунта связано с изменением первоначальных модулей объемной деформации и модуля сдвига, что в процессе изменения напряженно-деформированного состояния грунта учитывается как фактор либо упрочнения, либо разупрочнения грунта.

Решение динамической задачи в расчете на акселерограмму заключается в получении пульсаций всех компонент напряжений в расчетных элементах плотины, пульсаций перемещений и ускорений в узлах во время землетрясения. Основное динамическое уравнение вынужденных колебаний при внешней нагрузке, заданной акселерограммой для системы с N степенями свободы можно представить в матричном виде:

$$[M]\{\ddot{U}\}_t + [C]\{\dot{U}\}_t + [K]\{U\}_t = \{R\}_t \qquad (12.3.4)$$

где [M], [C], [K] – соответственно матрицы масс, затухания и жёсткости системы, $\{R\}_t$ – вектор внешних сил, вызванных заданными в основании сооружения сейсмическими ускорениями, определенными согласно расчетной акселерограммы.

Один из методов решения динамического уравнения является метод спектрального преобразования искомой функции перемещений на основе тривиального решения о функции колебаний как функции двух параметров – координат и времени (метод Фурье, принцип Релея), что позволяет представить функцию перемещений системы в виде матричного произведения двух функций – функции координат и функции времени. В роли первой функции выступает матрица форм собственных колебаний системы - [X], в роли функции времени выступают колебания математических маятников, расположенных в векторе по частотам собственных колебаний сооружения $-\{Y\}_t$.

$$\{U\}_t = [X]\ \{Y\}_t\ , \qquad (12.3.5)$$

Очевидно, что при свободных колебаниях системы матричное произведение вида (12.3.5) представляет собой запись закона гармонического анализа, где функциями $\{Y\}_t$ являются гармонические функции разной частоты, изменяющиеся во времени, а матрица [X] выступает в роли амплитудных коэффициентов при гармониках. Так, на основе гармонического анализа для k-узла системы, его смещение в момент времени t в j-направлении при учете f форм собственных колебаний конструкции можно представить суммой:

$$U_{k\,j}(t) = X_{1\,k\,j}\,Y_1(t) + X_{2\,k\,j}\,Y_2(t) + \ldots\ldots + X_{i\,k\,j}\,Y_i(t) + \ldots + X_{f\,k\,j}\,Y_f(t) \qquad (12.3.6)$$

где $X_{i\ k\ j}$ – смещение в k-узле системы в j-направлении по i-форме собственных колебаний; $Y_i(t)$ – смещение линейного осциллятора с i-частотой собственных колебаний в момент времени t.

Методы гармонического анализа используются как при исследованиях свободных колебаний систем, так и при вынужденных.

В ходе подстановок и матричных преобразований уравнения (12.3.4) на основе ортонормированности собственных векторов динамическое уравнение преобразуется в систему независимых дифференциальных уравнений для каждой из форм собственных колебаний, которое может быть решено в ходе двойного интегрирования относительно функции перемещений [49]. Полученные пульсации перемещений и ускорений линейных осцилляторов позволяют перейти к перемещениям и ускорениям всей системы и к определению пульсаций сейсмических сил, действующих в узлах системы во время землетрясения.

Дальнейшие расчеты происходят с использованием «энергетической модели грунта», в качестве сейсмических нагрузок для которой используются полученные в решении динамической задачи компоненты сейсмических сил для узлов расчетной области. Расчет напряженно-деформированного состояния сооружения при землетрясении производится на основе метода локальных вариаций (МЛВ) с определением в ходе итерационного процесса истинных перемещений, соответствующих минимуму энергетического функционала, представляющего собой сумму работы внешних сил на приращении перемещений и энергию деформирования системы на том же приращении перемещения. В качестве нагрузок на каждом этапе расчета рассматривается приращение сейсмических сил на установленном шаге оцифровки акселерограммы.

Таким образом, работу программного комплекса SEISMIC можно представить в виде задачи, решаемой в 3 этапа:

- на первом этапе рассчитываются формы и частоты собственных колебаний сооружения;
- на втором этапе рассчитываются пульсации сейсмических нагрузок во время землетрясения в предположении упругой работы конструкции, что дает максимальные значения этих величин, при этом решается динамическая задача в расчете на заданную акселерограмму в ходе спектральных преобразований динамических уравнений;
- на третьем этапе решается упруго-пластическая задача деформирования сооружения под действием изменяющихся во времени сейсмических сил, приложенных покомпонентно в каждом узле конструкции с использованием «энергетической» модели грунта проф. Л.Н.Рассказова.

В качестве параметров сейсмостойкости для грунтовых плотин следует рассматривать следующие результаты расчетов:

– абсолютные величины остаточных перемещений в различных областях плотины, на гребне, на откосах, на бермах и т.п., которые могут быть соотнесены с критериальными значениями осадок и смещений плотины для соответствующих зон плотины, установленными в декларации безопасности сооружения.

Методика выполнения динамических расчетов, реализованная в программном комплексе ПК PLAXIS 2D.

Основное уравнения для описания динамического поведения

Основное уравнение для зависящего от времени перемещения объемного тела под воздействием динамической нагрузки имеет вид:

$$[M]\ddot{U} + [C]\ddot{U} + [K]\ddot{U} = F \qquad (12.3.7)$$

где [M] – соответственно матрицы масс, $U -$ вектор перемещения, [C] – матрица демпфирования, [K] – матрица жёсткости, F – вектор нагрузки. Перемещения, ускорение и скорость могут меняться со временем. Два последних члена в уравнении (12.3.7) $[K]\ddot{U} = F$ соответствуют статической деформации.

Сейсмическое воздействие прикладывается к расчетной модели с помощью заданного перемещения на нижней границе. Также в модели заданы интерфейсы по всем границам схемы для возможности использования граничного условия: Compliant base на нижней границе, а на двух вертикальных границах модели задается граничное условие Free-field.

Расчет напряженно-деформированного состояния грунтовой плотины выполнялся с учетом поэтапности строительства, наполнения водохранилища выполнялось в один этап, затем к расчетной модели прикладывалось заданное сейсмическое воздействие в виде расчетной акселерограммы землетрясения уровня ПЗ и МРЗ.

Расчеты форм собственных колебаний грунтовой плотины

Решение задачи о формах и частотах собственных колебаний плотины проводится в ходе решения основного динамического уравнения свободных колебаний. Затухание при этом не учитывается. Решается уравнение вида:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = 0 \qquad (12.3.8)$$

где $[M]$ u $[K]$ – матрицы масс и жесткости системы соответственно; $\{\ddot{U}\}u\ \{U\}$ – вектора ускорений и смещений по N степеням свободы.

Итерационный процесс поиска векторов собственных колебаний по формам колебаний основан на методе Шварца Паккарда с ограничением числа форм собственных колебаний, использующихся в расчете.

Период основного тона плотины составляет 0,774 с. В расчете рассматривалась задача с учетом присоединенной массы воды в водохранилище. Без учета воды в водохранилище период основного тона составил 0,765 с. Для исключения влияния основания на динамические характеристики грунтовой плотины был сделан расчет с занулением массы нижнего геологического слоя основания, период основного тона при этом снизился и составил 0,74 с. На рисунке 12.3.1 приведены результаты расчетов.

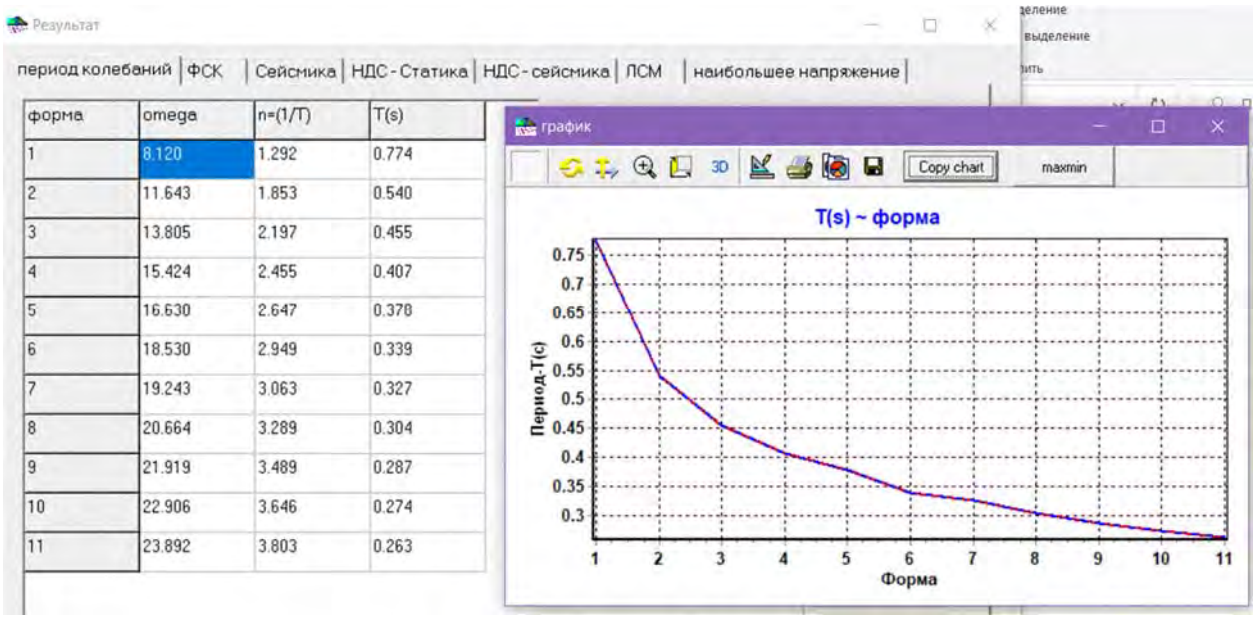
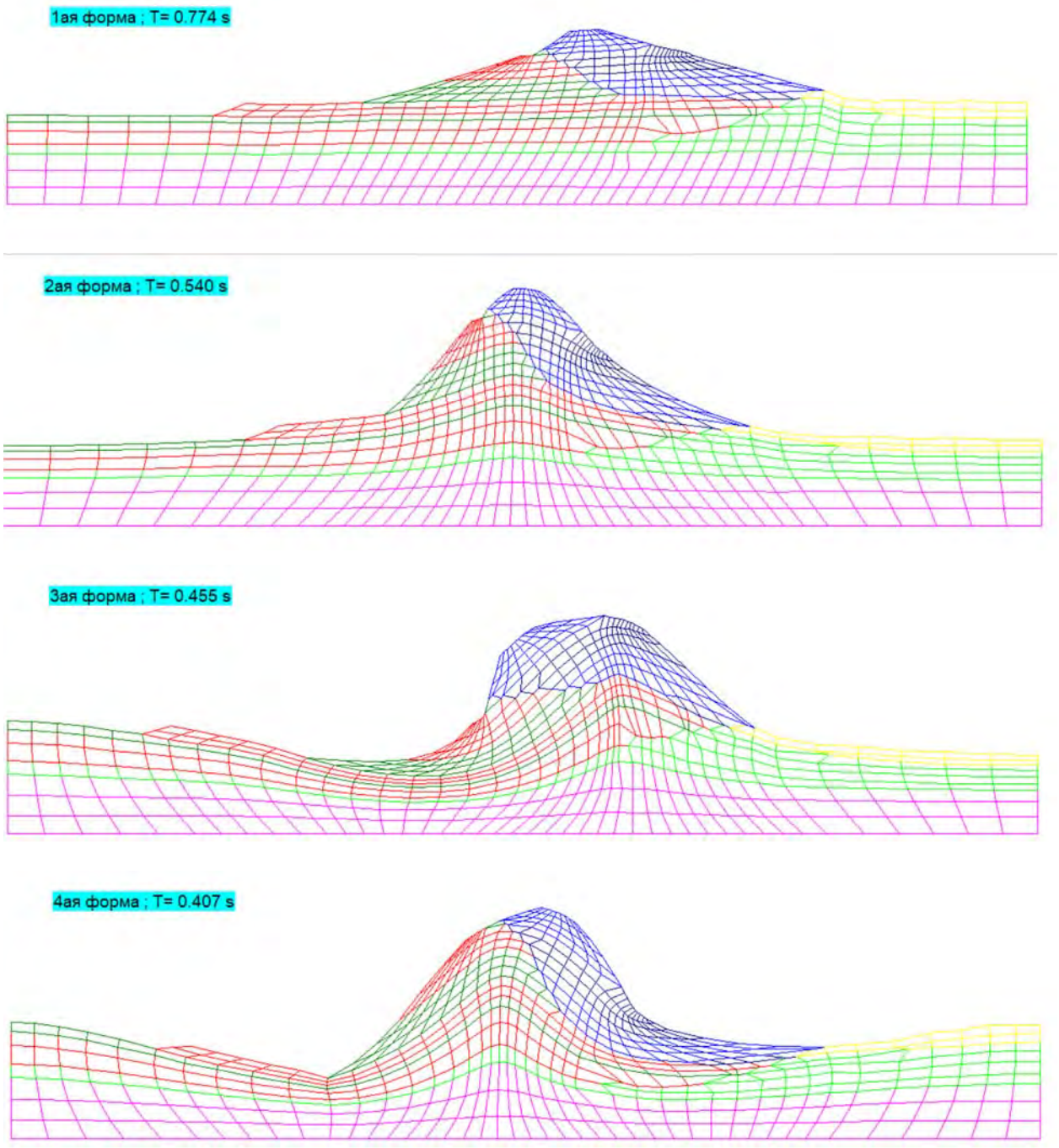
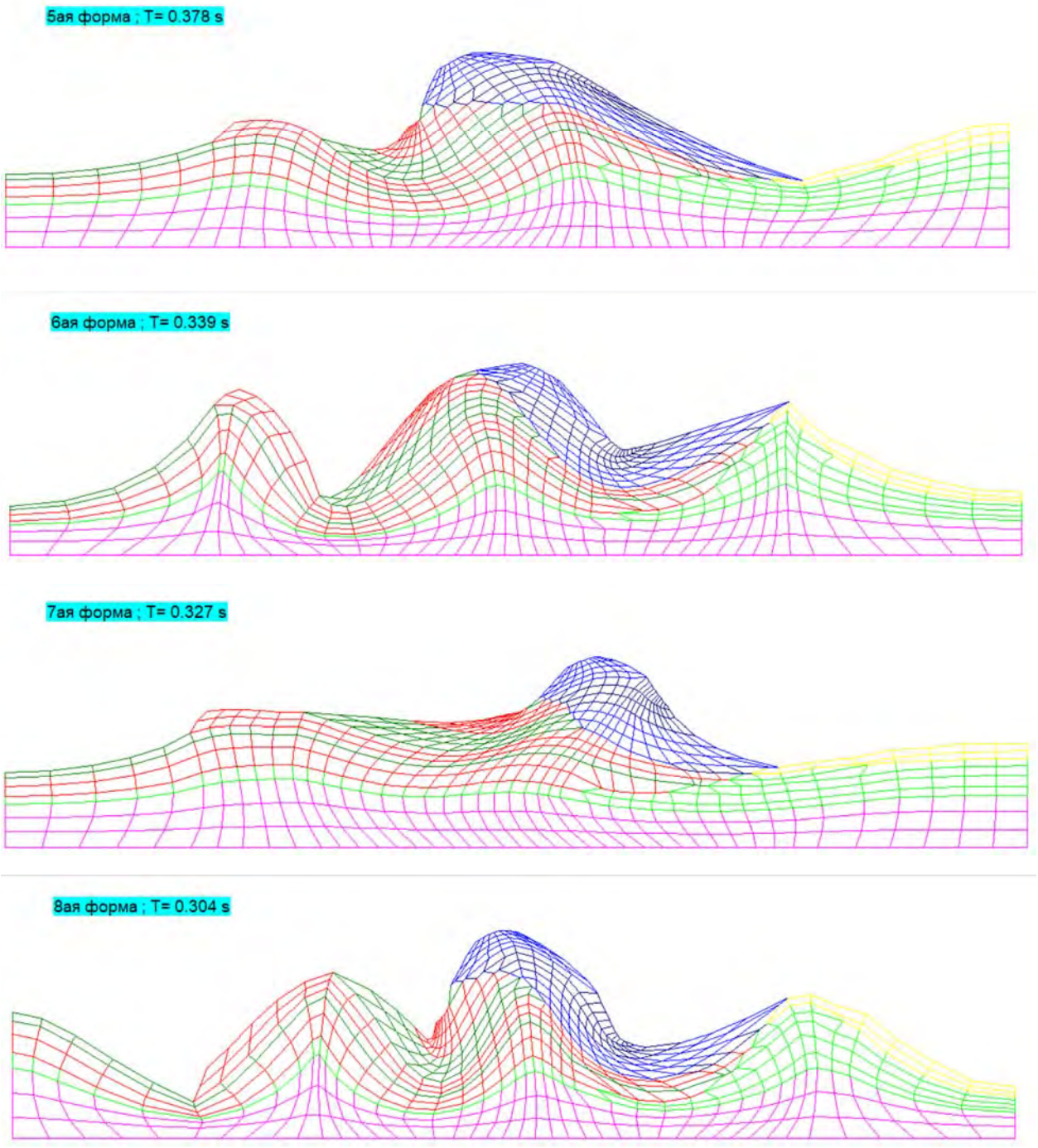


Рисунок 12.3.1 – Результаты расчета периода основного тона плотины

В расчете учитывалось 11 форм собственных колебаний. В каждой из них присутствуют компоненты горизонтальных смещений, имеющие значение в формировании векторов упругих смещений системы при землетрясении. Анализируя полученные формы, можно отметить, что 2 и 3 формы являются преимущественно колебаниями в вертикальной плоскости – характеризуют волны сжатия-растяжения. Практически «чистыми» горизонтальными колебаниями являются только первая, пятая и седьмая ФСК, все остальные имеют существенную долю вертикальных составляющих в смещениях, что говорит о необходимости рассмотрения в задаче вопросов сейсмоустойчивости плотины с учетом вертикальных

компонент акселерограммы. На рисунке 12.3.2 приведены расчетные формы собственных колебаний грунтовой плотины.




5ая форма ; T= 0.378 s
6ая форма ; T= 0.339 s
7ая форма ; T= 0.327 s
8ая форма ; T= 0.304 s

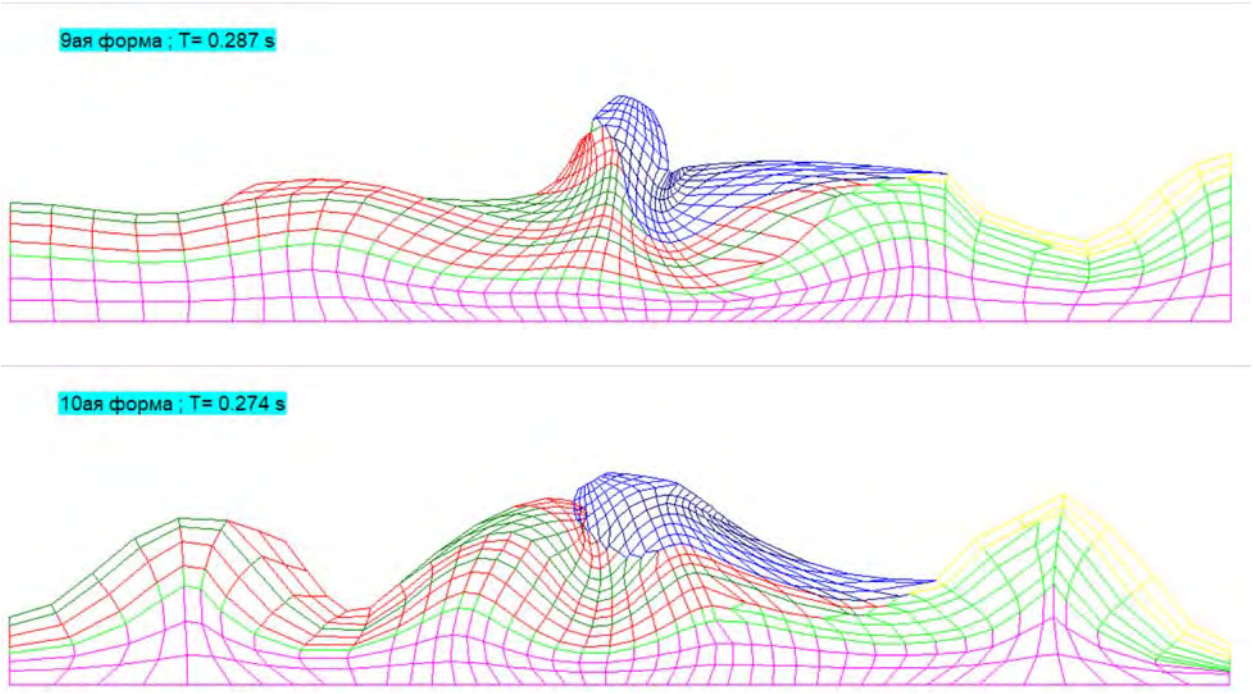


Рисунок 12.3.2 – Расчетные формы собственных колебаний грунтовой плотины

Если сопоставить полученные значения низших форм с периодами собственных колебаний плотин, полученных при расчетах методами сдвигового клина (МСК) по формуле [49]:

$$T_i = H\,\frac{2\pi}{k_i V_s}, \qquad (12.3.9)$$

где H – высота плотины; V_s - скорость распространения поперечных волн, м/с; k_i – коэффициент для i-формы колебаний, полученный методом МСК в зависимости от свойств основания k_o. Рекомендация (12.3.9) не учитывает присоединенной массы воды.

Таблица 12.3.1– Коэффициенты для i-формы колебаний по МСК

i-формы	1	2	3
ki для скального основания (k_o=0)	2,405	5,52	8,65
Период по МСК	0,76	0,33	0,211
Период из решения (5) без воды	0,765	0,373	0,322
Период из решения (5) с присоединенной массой	0,774	0,378	0,327
Период из решения (5) с присоединенной массой без инерции основания	0,745	0,351	0,296

Полученные периоды основного тона для всех задач согласуются с периодами, полученными по упрощенным методикам. За счет учета присоединенной массы воды период увеличивается на 1,2%, что говорит о незначительном влиянии воды водохранилища на колебания плотины малой высоты с пологой напорной гранью.

12.4 Результаты расчетных исследований

На рисунках 12.4.1 - 12.4.24 приведены результаты расчетных исследований грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища в ПК PLAXIS 2D.

На рисунках 12.4.1 – 12.4.4 приведены результаты расчетов грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища при основном сочетании нагрузок. Максимальная расчетная величина вертикальных перемещений (осадок) плотины составляет 0,448 м, максимальная расчетная величина горизонтальных перемещений составляет 0,283 м и располагается на низовом откосе плотины.

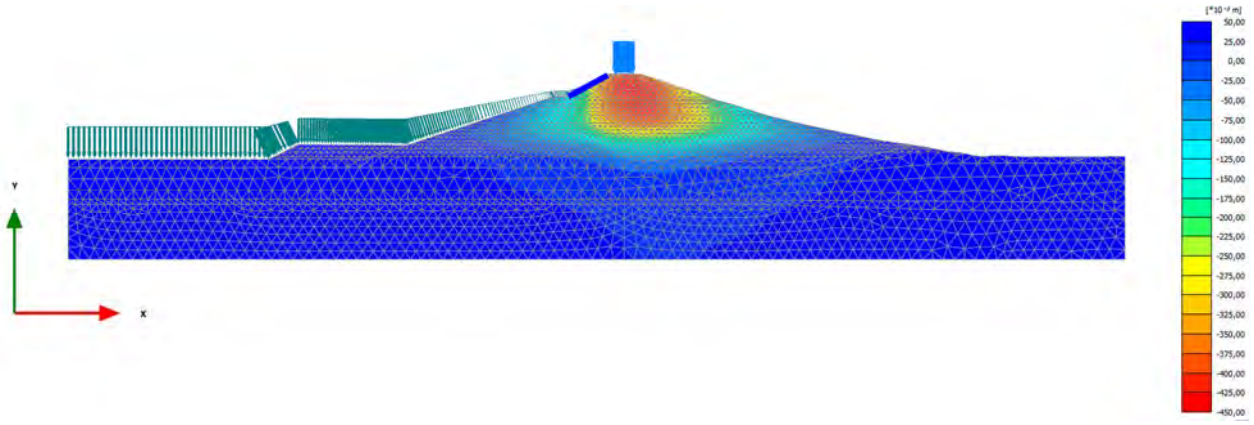


Рисунок 12.4.1 – Расчетные вертикальные перемещения грунтовой плотины ПК 10+00 при основном сочетании

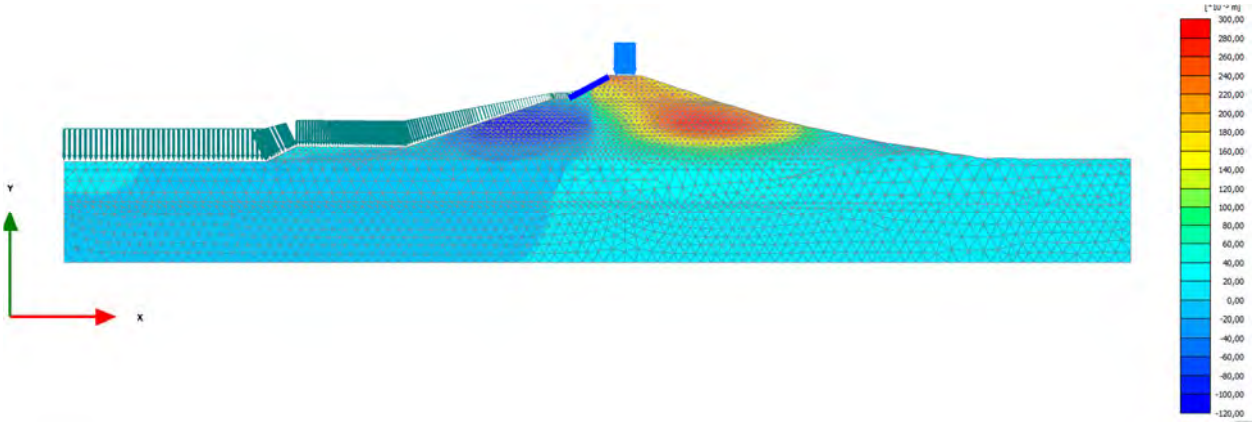


Рисунок 12.4.2 – Расчетные горизонтальные перемещения грунтовой плотины ПК 10+00 при основном сочетании

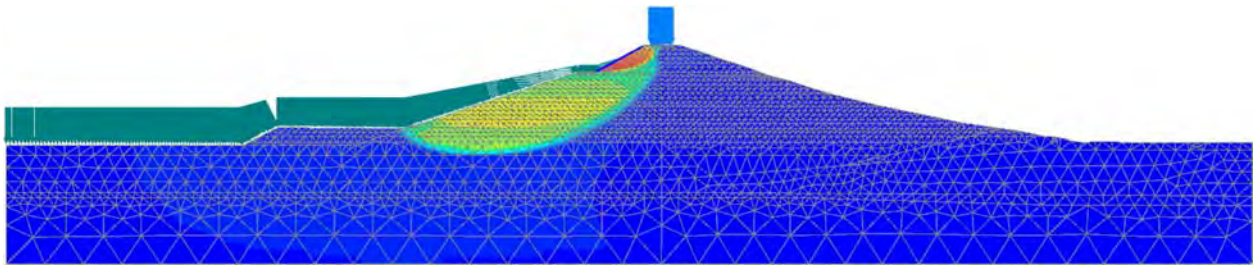


Рисунок 12.4.3 – Результаты расчётов устойчивости верхового откоса плотины ПК 10+00 при основном сочетании ($К_{мин}$ = 2,638)

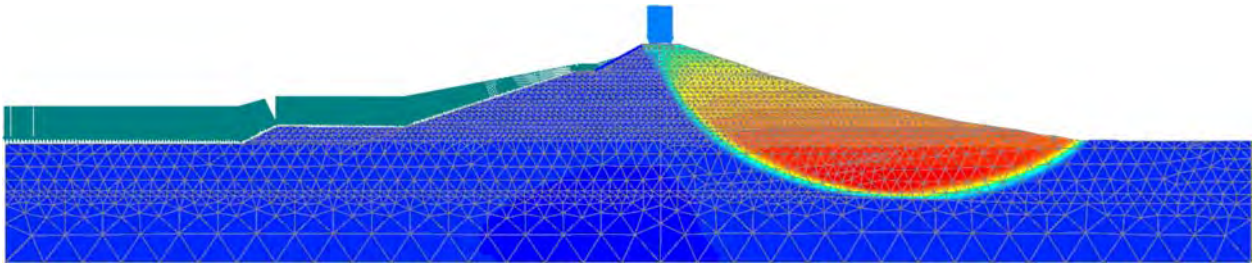


Рисунок 12.4.4 – Результаты расчётов устойчивости низового откоса плотины ПК 10+00 при основном сочетании ($К_{мин}$ = 1,979)

На рисунках 12.4.5, 12.4.6 приведены результаты расчетов грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмического воздействия уровня ПЗ. Максимальная расчетная величина остаточных вертикальных перемещений (осадок) плотины составляет 3,56 мм, максимальная расчетная величина остаточных горизонтальных перемещений составляет 0,138 м и располагается в области низового откоса плотины.

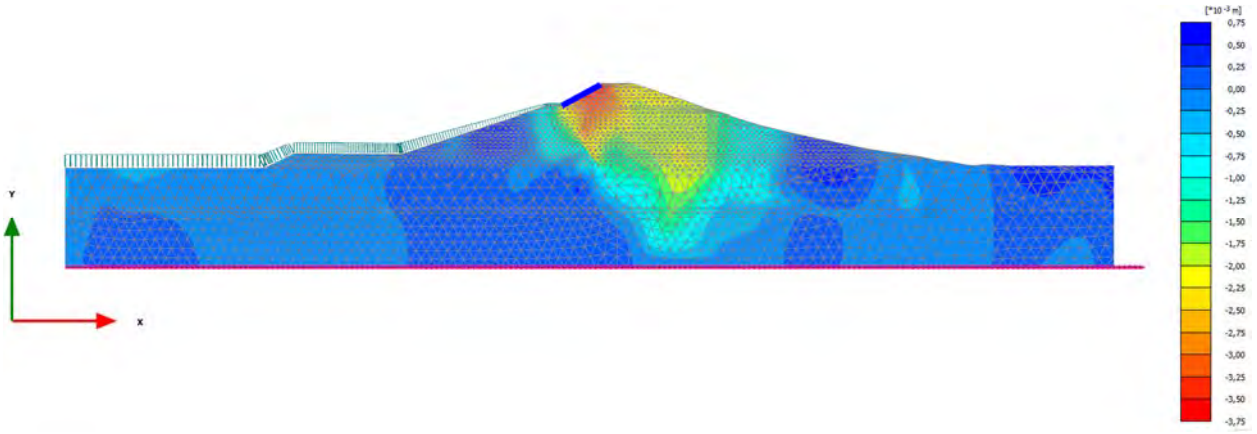


Рисунок 12.4.5 – Расчетные вертикальные перемещения грунтовой плотины ПК 10+00 при особом сочетании (ПЗ)

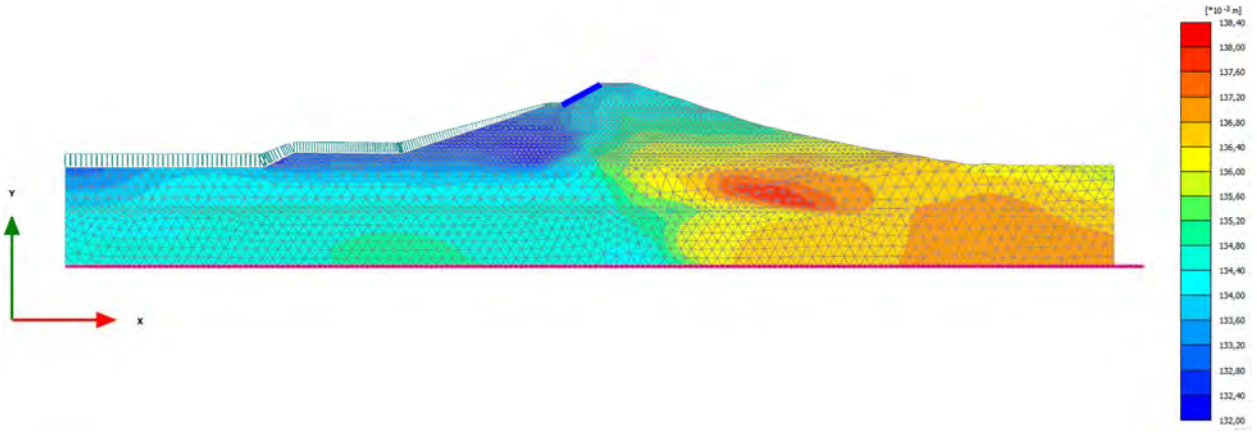


Рисунок 12.4.6 – Расчетные горизонтальные перемещения грунтовой плотины ПК 10+00 при особом сочетании (ПЗ)

На рисунках 12.4.7 – 12.4.14 приведены графики горизонтальных и вертикальных перемещений наиболее характерных точек грунтовой плотины в период сейсмического воздействия уровня ПЗ.

Точка 1 расположена на гребне на оси плотины на отметке 224,70 м, точка 2 – на низовом откосе плотины на отметке 219,90 м, точка 3 – на берме верхового откоса плотины на отметке 218,60 м, точка 4 – на верховом откосе плотины на отметке 211,50 м.

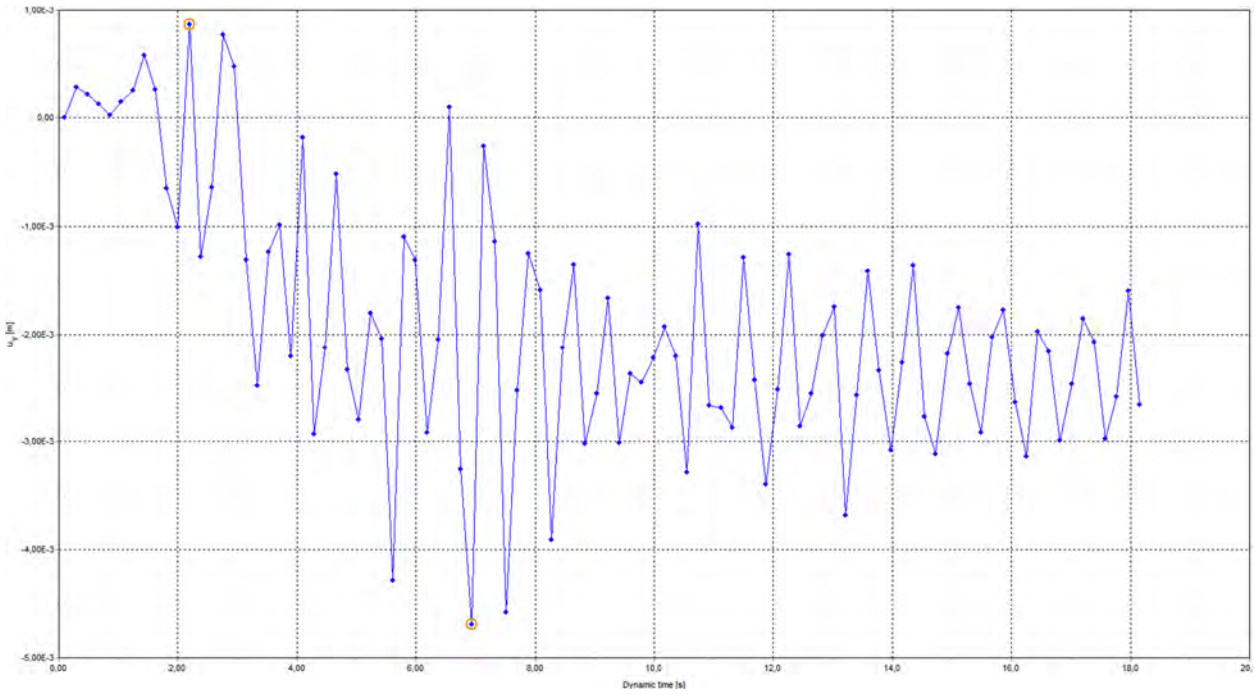


Рисунок 12.4.7 – График вертикальных перемещений точки 1 при сейсмическом воздействии уровня ПЗ

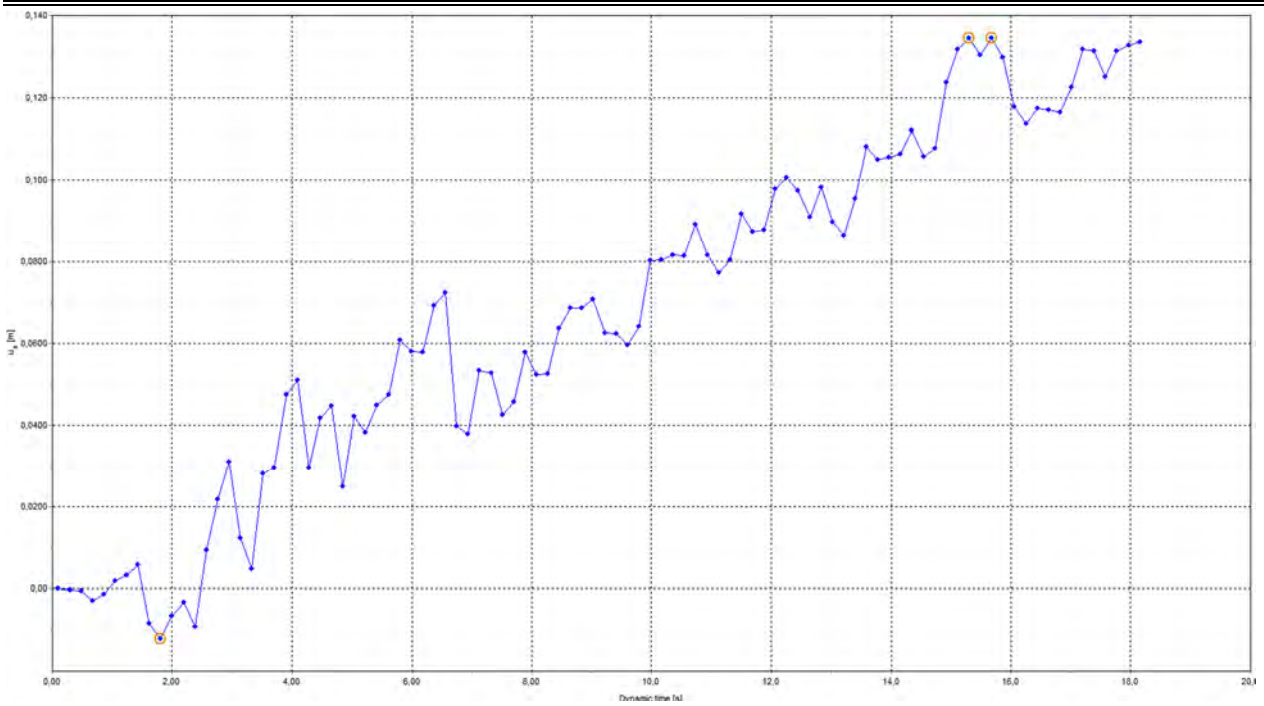


Рисунок 12.4.8 – График горизонтальных перемещений точки 1 при сейсмическом воздействии уровня ПЗ

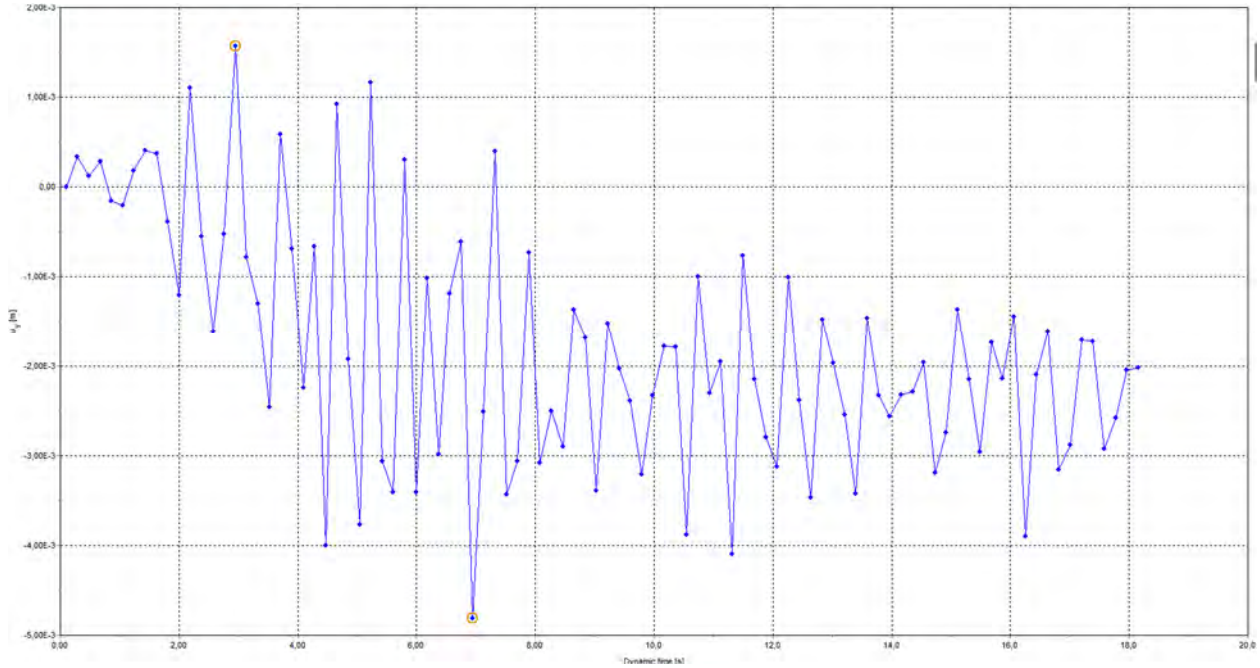


Рисунок 12.4.9 – График вертикальных перемещений точки 2 при сейсмическом воздействии уровня ПЗ

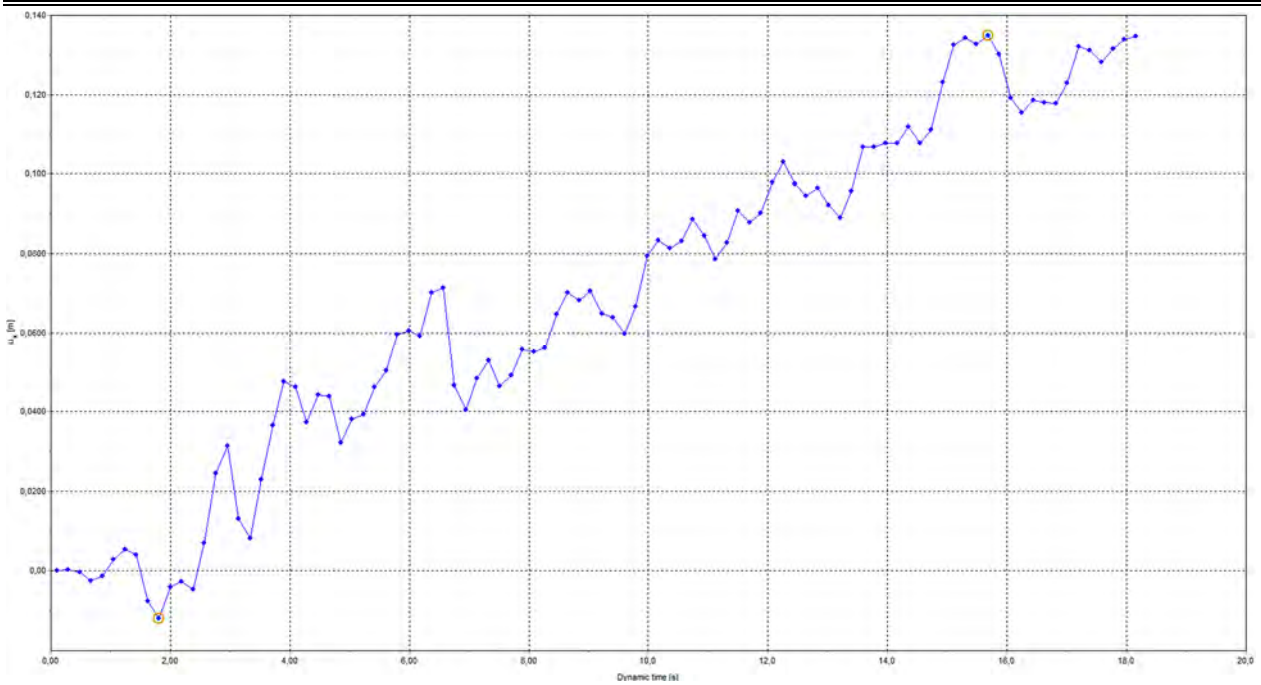


Рисунок 12.4.10 – График горизонтальных перемещений точки 2 при сейсмическом воздействии уровня ПЗ

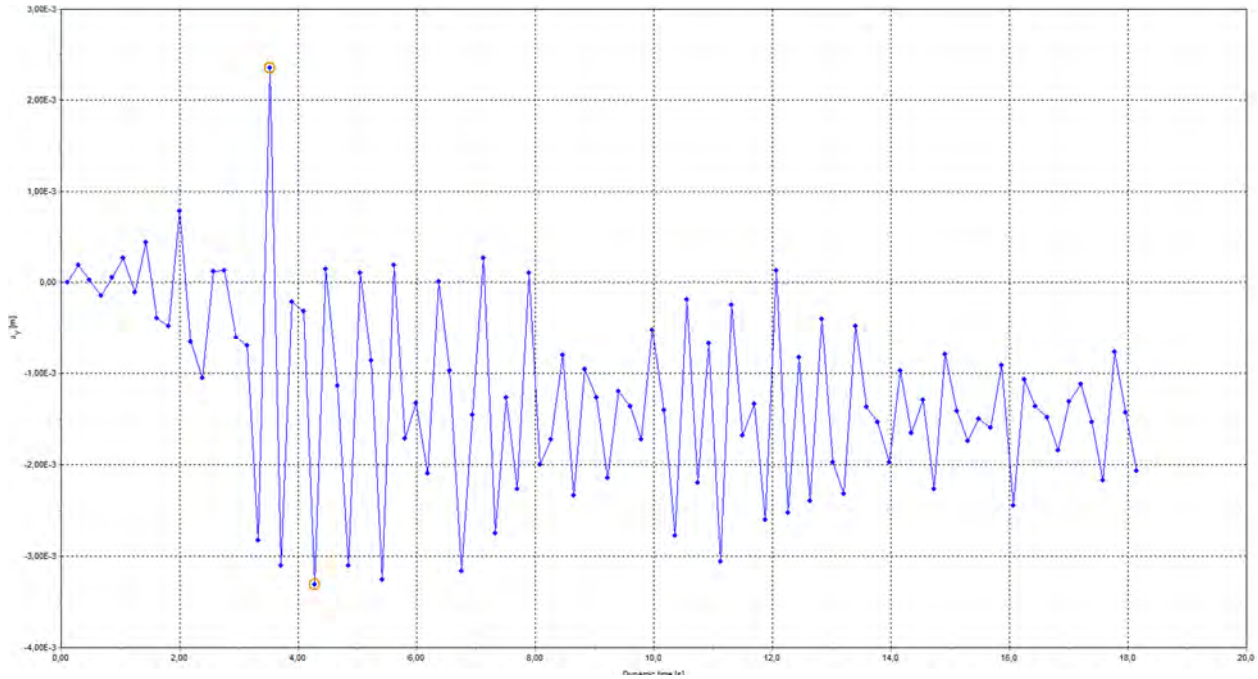


Рисунок 12.4.11 – График вертикальных перемещений точки 3 при сейсмическом воздействии уровня ПЗ

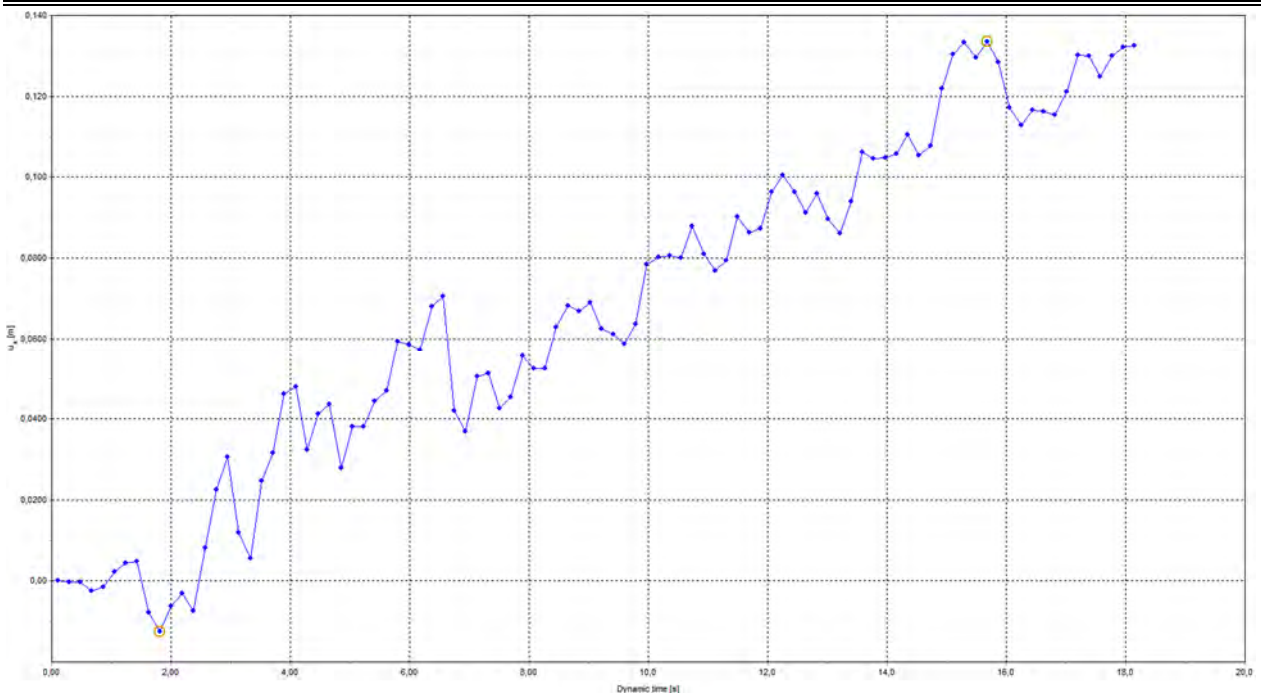


Рисунок 12.4.12 – График горизонтальных перемещений точки 3 при сейсмическом воздействии уровня ПЗ

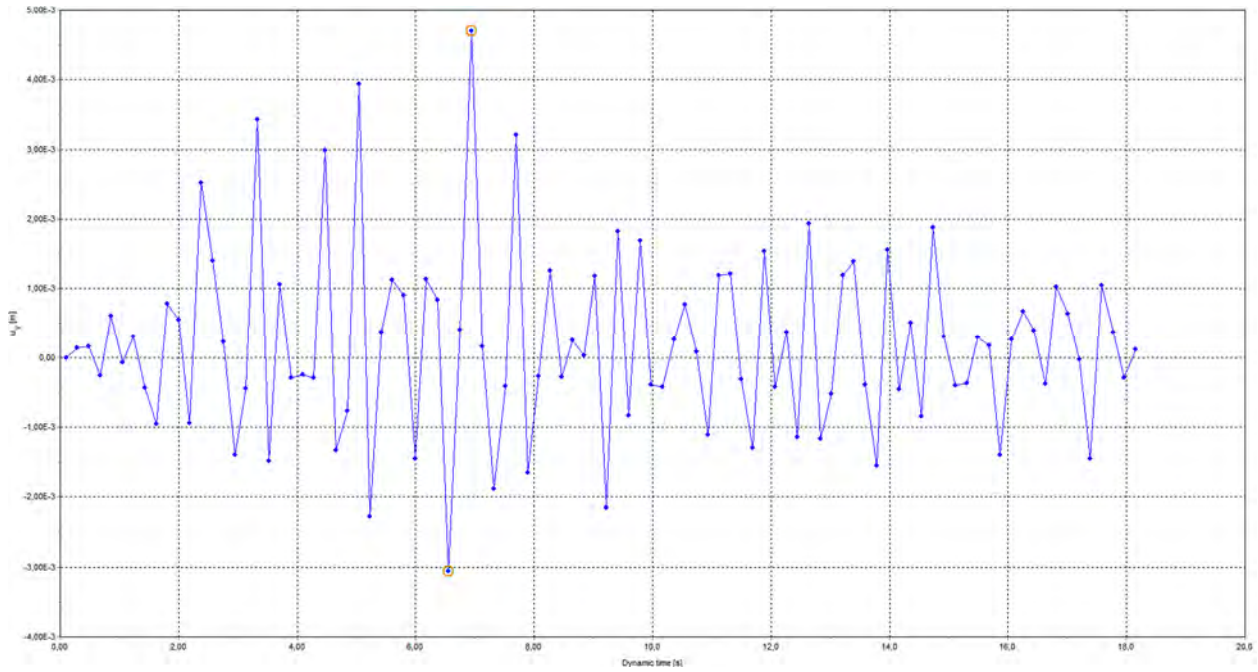


Рисунок 12.4.13 – График вертикальных перемещений точки 4 при сейсмическом воздействии уровня ПЗ

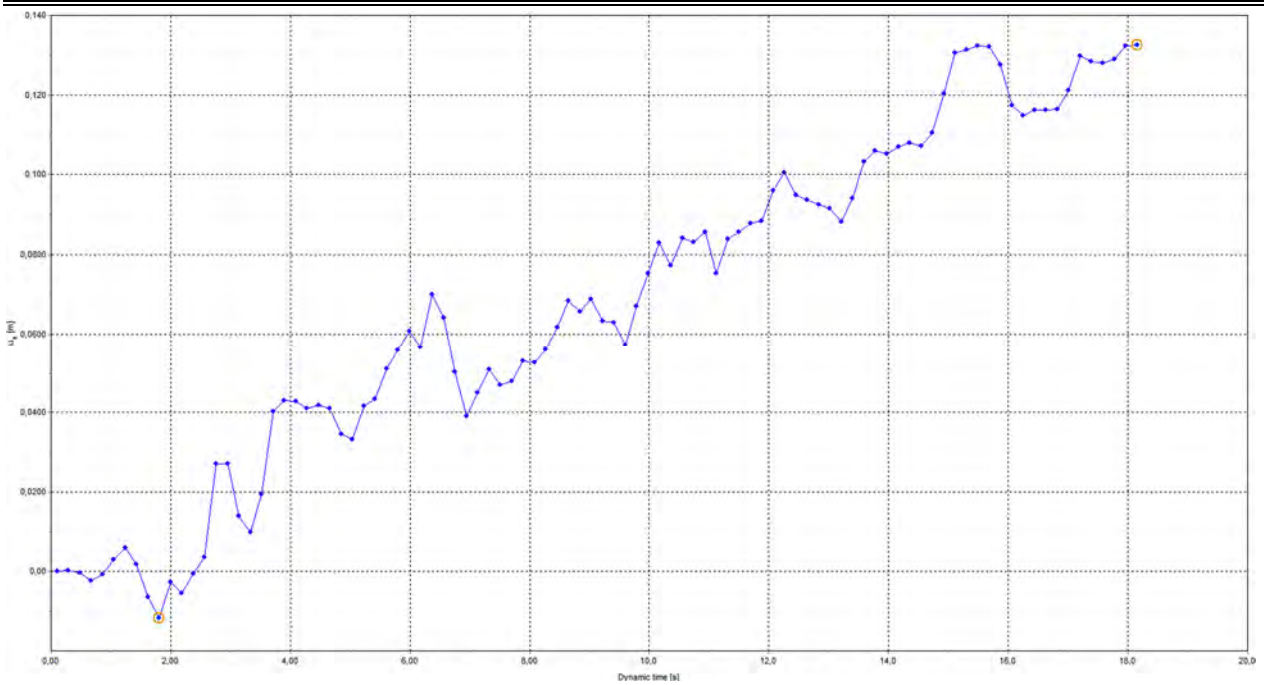


Рисунок 12.4.14 – График горизонтальных перемещений точки 4 при сейсмическом воздействии уровня ПЗ

На рисунках 12.4.15, 12.4.16 приведены результаты расчетов грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмического воздействия уровня МРЗ. Максимальная расчетная величина остаточных вертикальных перемещений (осадок) плотины составляет 0,216 м, максимальная расчетная величина остаточных горизонтальных перемещений составляет 0,206 м и располагается в области низового откоса плотины.

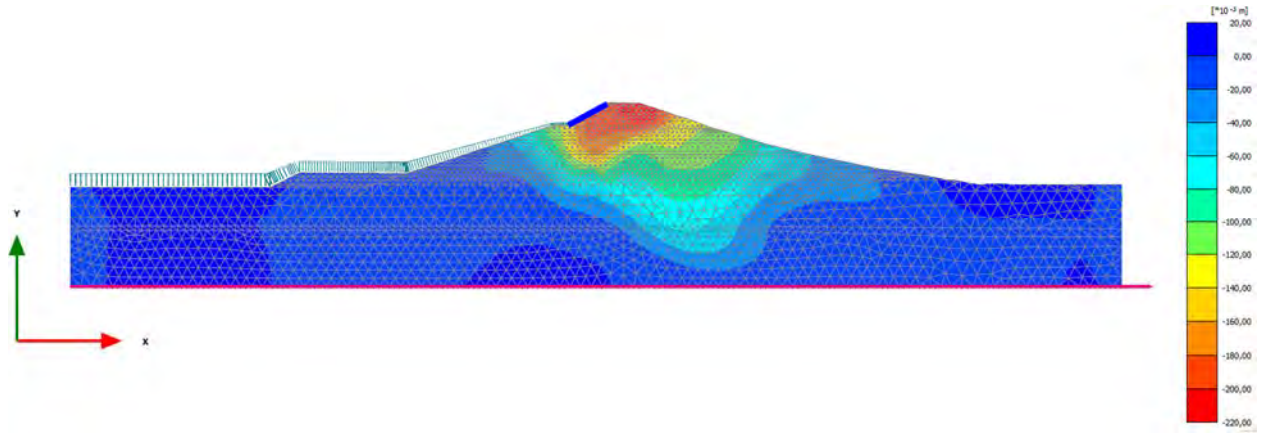


Рисунок 12.4.15 – Расчетные вертикальные перемещения грунтовой плотины ПК 10+00 при особом сочетании (МРЗ)

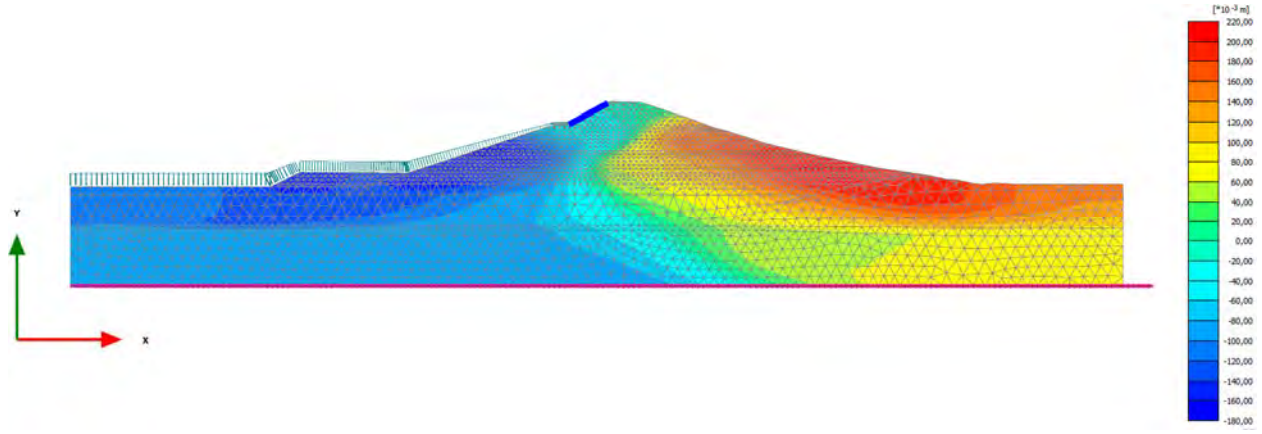


Рисунок 12.4.16 – Расчетные горизонтальные перемещения грунтовой плотины ПК 10+00 при особом сочетании (МРЗ)

На рисунках 12.4.17 – 12.4.24 приведены графики горизонтальных и вертикальных перемещений наиболее характерных точек грунтовой плотины в период сейсмического воздействия уровня МРЗ.

Точка 1 расположена на гребне на оси плотины на отметке 224,70 м, точка 2 – на низовом откосе плотины на отметке 219,90 м, точка 3 – на берме верхового откоса плотина на отметке 218,60 м, точка 4 – на верховом откосе плотины на отметке 211,50 м.

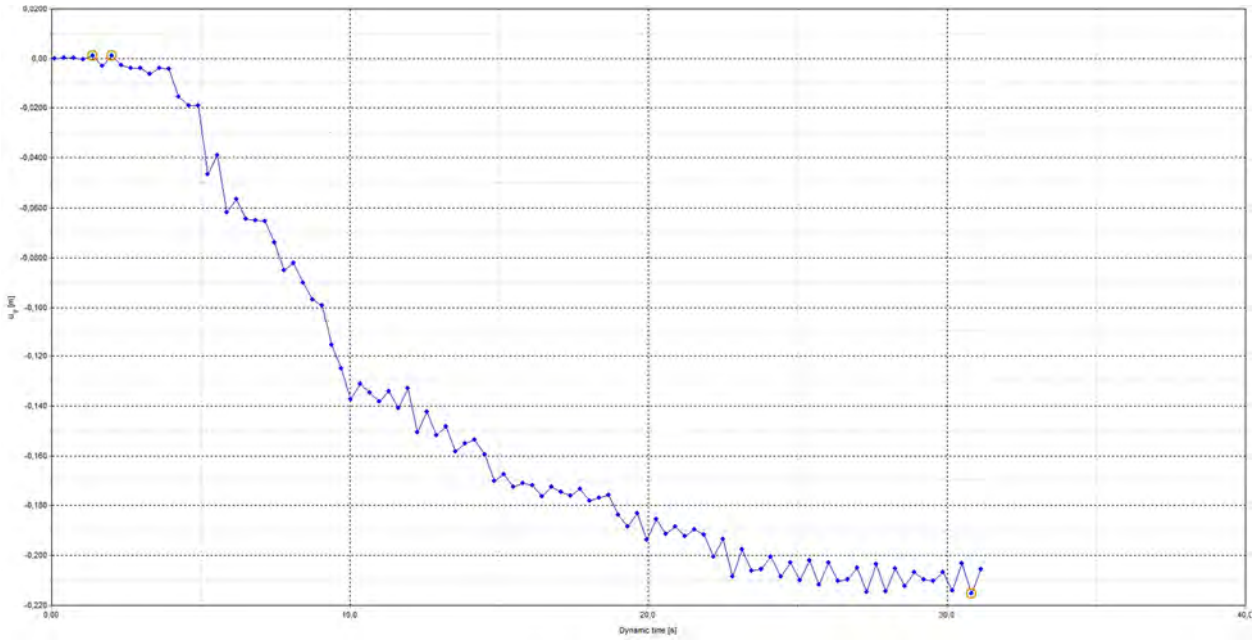


Рисунок 12.4.17 – График вертикальных перемещений точки 1 при сейсмическом воздействии уровня МРЗ

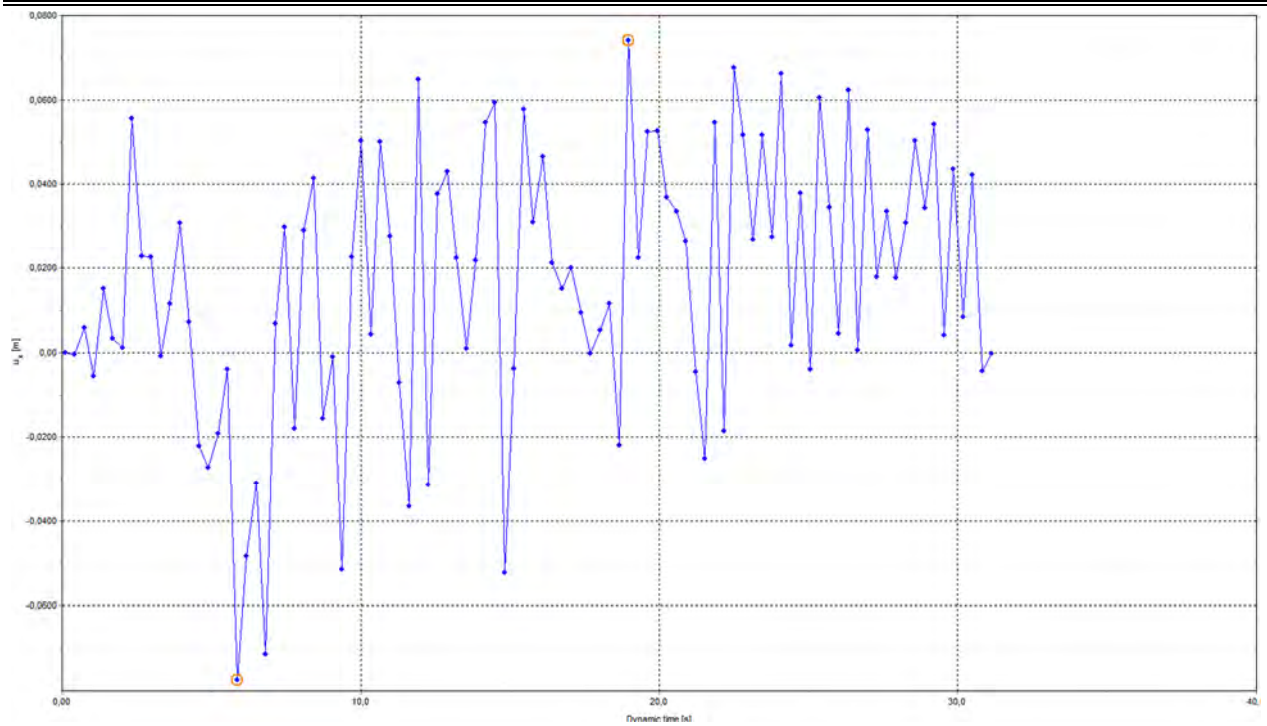


Рисунок 12.4.18 – График горизонтальных перемещений точки 1 при сейсмическом воздействии уровня МРЗ

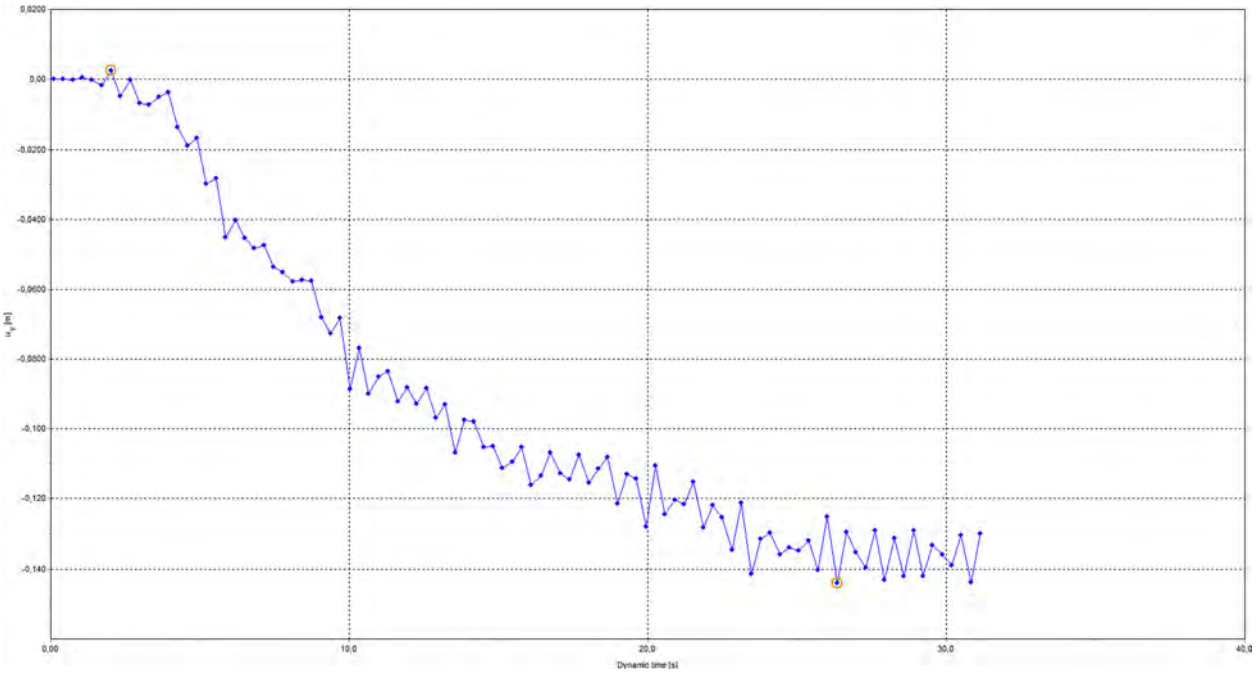


Рисунок 12.4.19 – График вертикальных перемещений точки 2 при сейсмическом воздействии уровня МРЗ

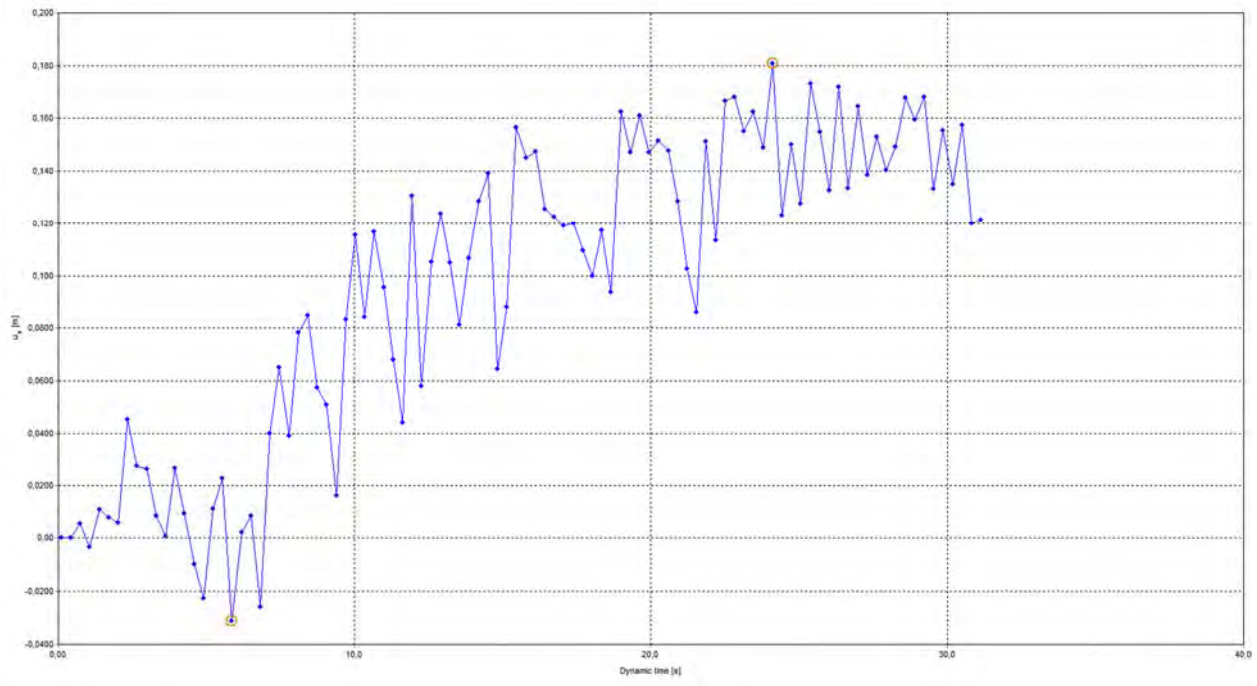


Рисунок 12.4.20 – График горизонтальных перемещений точки 2 при сейсмическом воздействии уровня МРЗ

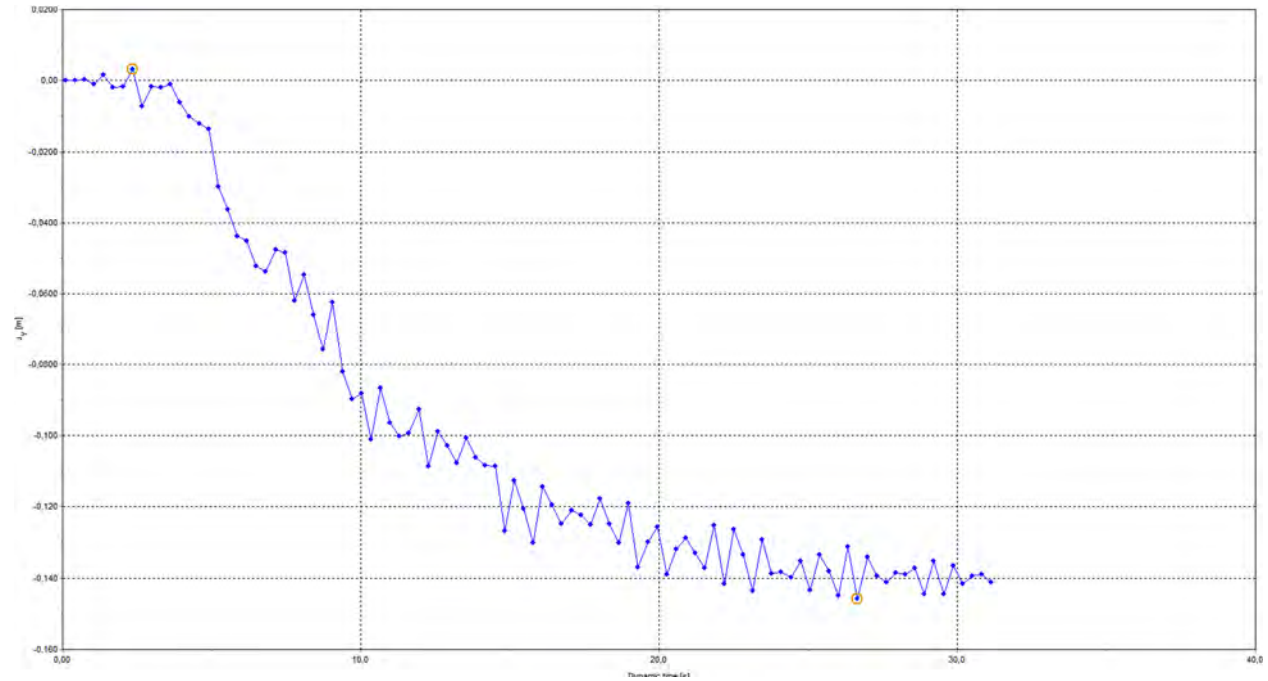


Рисунок 12.4.21 – График вертикальных перемещений точки 3 при сейсмическом воздействии уровня МРЗ

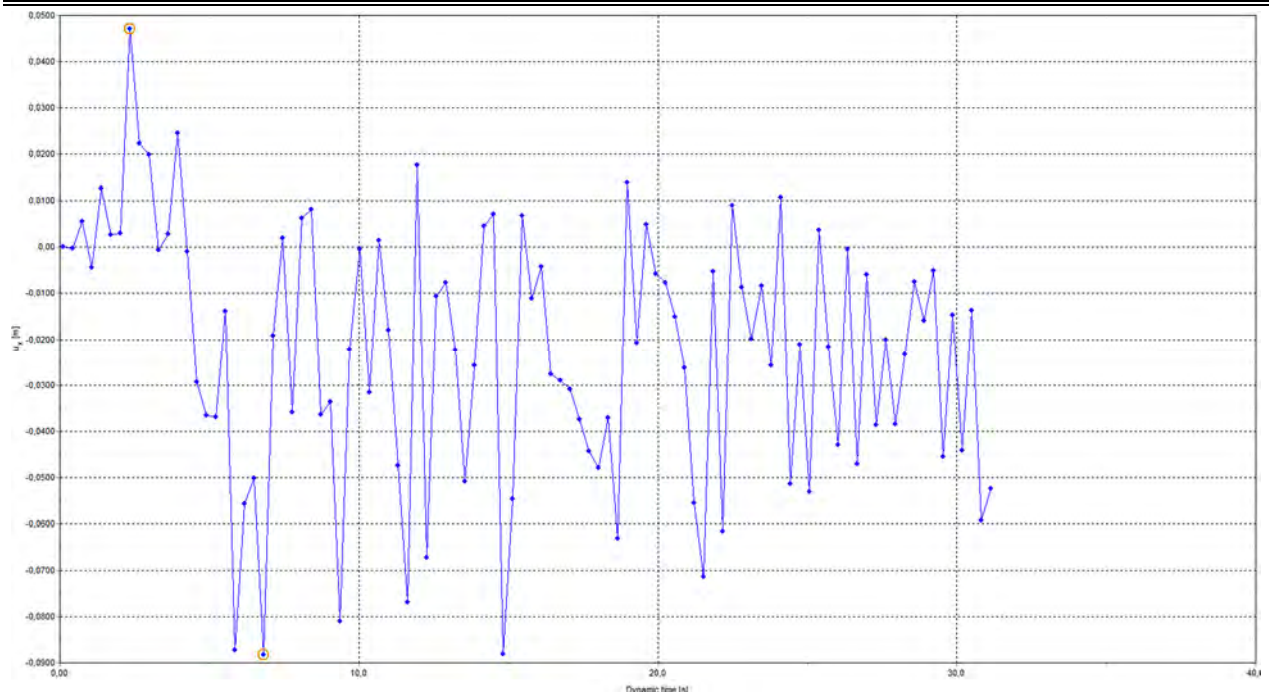


Рисунок 12.4.22 – График горизонтальных перемещений точки 3 при сейсмическом воздействии уровня МРЗ

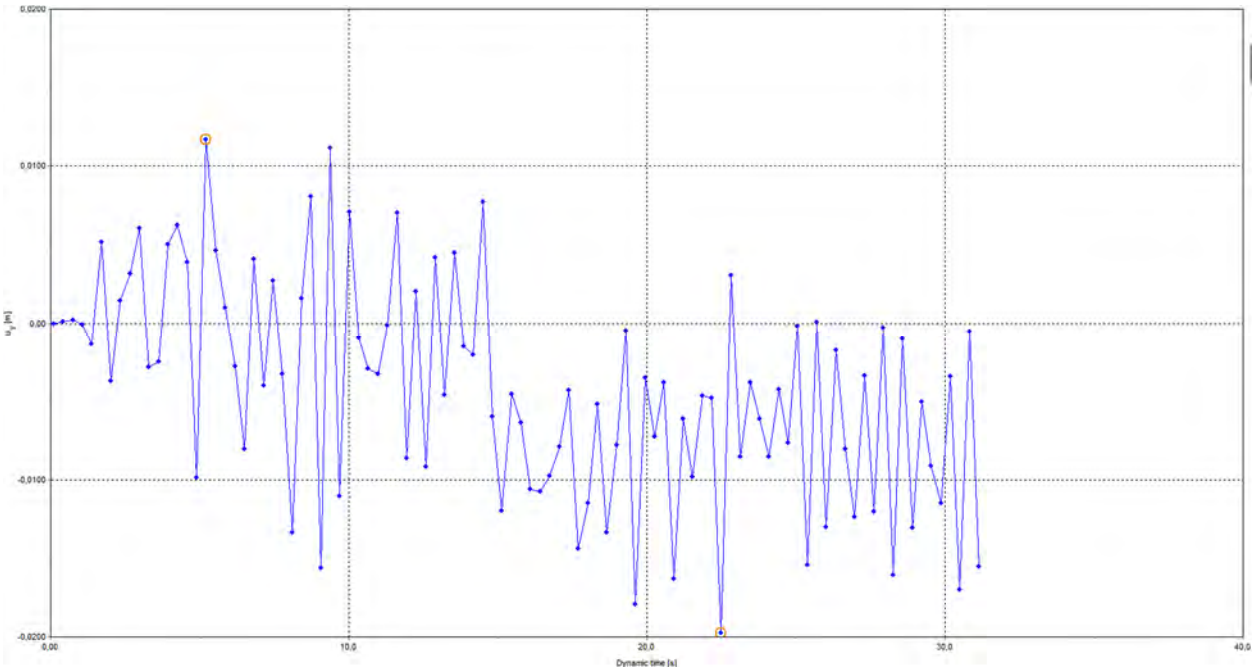


Рисунок 12.4.23 – График вертикальных перемещений точки 4 при сейсмическом воздействии уровня МРЗ

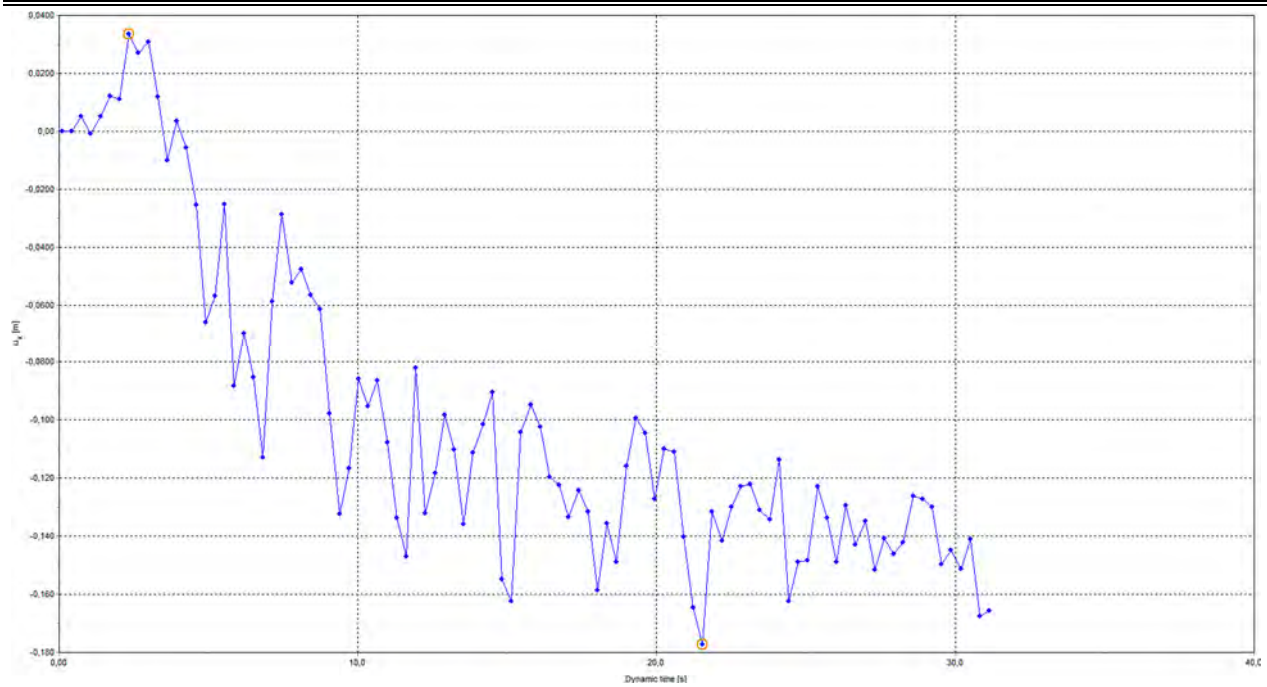


Рисунок 12.4.24 – График горизонтальных перемещений точки 4 при сейсмическом воздействии уровня МРЗ

На рисунках 12.4.25 - 12.4.24 приведены результаты расчетных исследований грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища в ПК SEISMIC.

Определение остаточных перемещений в плотине основано на методе локальных вариаций, при этом приращение нагрузки на каждом этапе, которым является этап изменения сейсмической силы. Пульсации сейсмических сил, полученные в решении динамической задачи, изменяются в каждом узле плотины согласно заданному шагу оцифровки акселерограммы 0,01с. Приращению сейсмических сил в узлах плотины согласно условию минимума приращения полной энергии системы ищется соответствующее приращение перемещений в узлах системы, которые при выполнении условия минимизации накапливаются.

Деформация поверхностного контура плотины после землетрясения уровня МРЗ представлена на рисунке 12.4.25. Отмечаются три характерных области накопления пластических деформаций – гребень плотины, область верхового откоса у основания бермы, низовой откос.

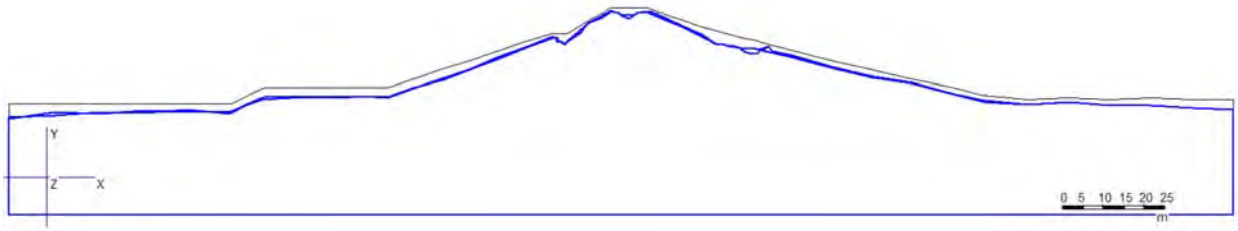


Рисунок 12.4.25 – Деформация поверхностного контура плотины после землетрясения уровня МРЗ

После начала землетрясения рост остаточных перемещений происходит неравномерно. Впервые 5 секунд рост замедленный, после серии сильных толчков с 5 до 10 секунд остаточные перемещения растут интенсивно, после 10 секунды рост перемещений замедляется, хотя и после 20 секунда небольшой прирост существует. В силу пластических свойств грунтов накопление остаточных перемещений происходит в сторону только их увеличения, горизонтальные смещения совершают колебательные движения, но их изменение во времени имеет тренд, который к концу землетрясения дает величину остаточных горизонтальных смещений.

На рисунках 12.4.26 – 12.4.29 представлены графики накопления перемещений в разных узлах плотины во время землетрясения: точка 1 - на гребне по оси плотины (узел 627), точка 2 – на низовом откосе плотины (узел 632), точка 3 – на берме верхового откоса плотины (566).



Рисунок 12.4.26 – Перемещения на гребне грунтовой плотины при землетрясении уровня МРЗ (узел 627)



Рисунок 12.4.27 – Перемещения на низовом откосе плотины при землетрясении уровня МРЗ (узел 632)



Рисунок 12.4.28 – Перемещения на берме верхового откоса при землетрясении уровня МРЗ (узел 566)

По окончанию землетрясения распределение остаточных перемещений представлено на рисунке 12.4.29.

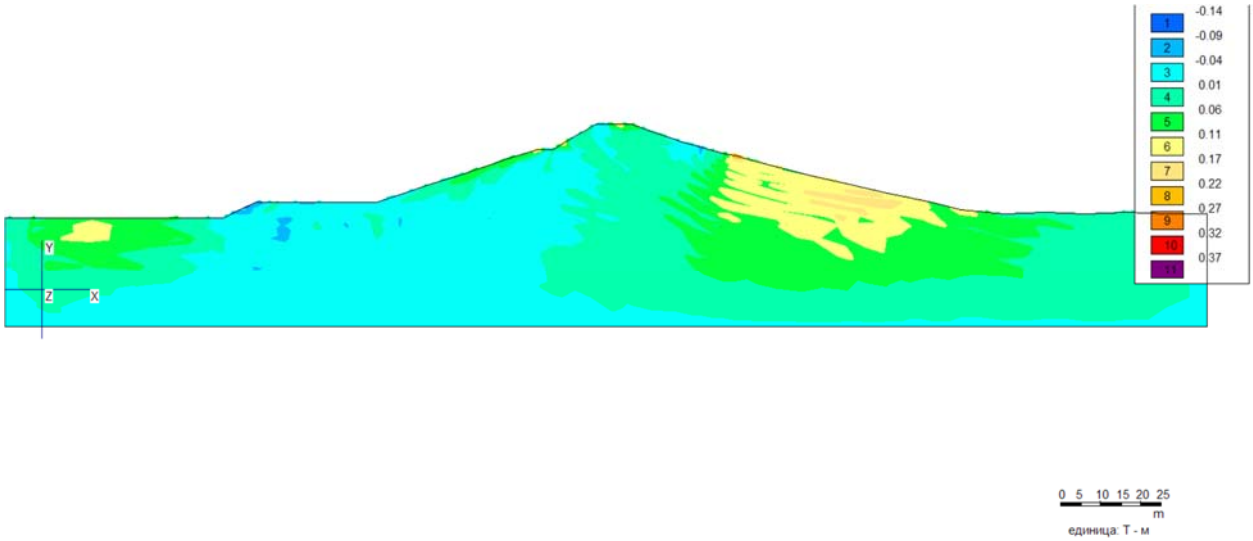


Рисунок 12.4.29 – Перемещения в плотине в конце землетрясения уровня МРЗ

На низовом откосе после землетрясения уровня МРЗ формируется область повышенных пластических деформаций, происходит накопление остаточных перемещений, горизонтальные перемещения к концу землетрясения достигают 0,22 м. Картина горизонтальных смещений в плотине после землетрясения напоминает характерное распластывание профиля, светло-зеленый цвет соответствует нулевым смещениям, голубой – смещениям в сторону верхнего бьефа, желтый – в сторону нижнего бьефа.

12.5 Выводы по разделу

1. Расчетные исследования устойчивости и прочности грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища на ПК 10+00 при основном сочетании нагрузок показали, что нормативная устойчивость откосов обеспечена.
2. Остаточные деформации плотины при сейсмическом воздействии характеризуются развитием осадок на протяжении всего времени сейсмического воздействия, в ходе которого происходит нарастание осадки плотины, горизонтальные смещения имеют знакопеременный характер и формируют тренд развития остаточных смещений.
3. Результаты расчетных исследований при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмического воздействия уровня МРЗ показали, что в зоне низового откоса плотины формируется зона пластических деформаций при этом, остаточные необратимые горизонтальные перемещения наблюдаются в средней части низового откоса плотины достигают 0,220 м.
4. Выполненное решение верификационной задачи в двух программных комплексах PLAXIS 2D и ПК SEISMIC показало хорошую сходимость результатов, что

свидетельствует о возможности применения данных программных комплексов для выполнения альтернативных расчетов.

ВЫВОДЫ

1. Выполнено детальное сейсмическое районирование плотины Егорлыкского водохранилища методом вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО);

2. Построен сводный каталог землетрясений для 200 км зоны проектируемого объекта и получены оценки сейсмического режима;

3. Сейсмическая опасность площадки, в привязке к грунтам второй категории по сейсмическим свойствам составляет, для периода повторяемости 500 лет – 6,8 балла; 1000 лет – 7,3 балла; 5000 лет – 8.1 балла. Проектные величины сейсмичности составляют 6 баллов для ПЗ и 7 баллов для МРЗ;

4. Оценка пиковых ускорений грунта PGA (см/с^2) для уровня референтного грунта первой категории с Vs=1000 м/с составляет:

Период повторяемости, лет	P, %	PGA, см/с^2	Период колебаний, сек											Длительность, сек
			0.06	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1	2	3	5	
500	10	57.59	71.3	84.9	101.2	99.9	91.3	79.8	60.4	40.33	14.90	7.31	1.83	2.9
1000	5	98.3	119.0	139.6	166.5	162.8	146.2	126.4	93.3	61.9	22.81	11.40	3.19	3.5
5000	1	228.7	301.9	375.1	463.6	460.1	420.3	359.6	263.8	173.4	61.6	31.29	9.03	4.1

5. На основе обобщённых спектров реакции синтезированы по пять трехкомпонентных акселерограмм для периодов повторяемости 500, 1 000 и 5 000 лет на уровне референтного грунта. Полученные акселерограммы представлены в формате xls в электронном приложении А. Набор акселерограмм предназначен для дальнейшего использования на стадии СМР, для численного моделирования реакции грунта;

6. Выполнено сейсмическое микрорайонирование участка исследований. С учетом уточнения исходной сейсмичности и результатов СМР расчетная сейсмичность для неизмененных грунтовых условий на дневной поверхности участка плотины составляет (изменяется в интервалах) в баллах по шкале MSK-64:

– от 6.9 до 7.0 баллов при 10%-й вероятности превышения этих значений в течение 50 лет (при средней повторяемости воздействий 1 раз в 500 лет). Значение используется для расчета на ПЗ;

– от 8.2 до 8.3 баллов при 1%-й вероятности превышения этих значений в течение 50 лет (при средней повторяемости воздействий 1 раз в 5000 лет);

7. Выполнено численное моделирование грунта. В результате численного моделирования получены оценки пиковых и спектральных ускорений движения грунта в долях g для каждого проектируемого сооружения на площадке:

500 лет		1000 лет		5000 лет	
от	до	от	до	от	до
0.065	0.098	0.094	0.146	0.194	0.288

По результатам численного моделирования расчетная сейсмичность для проектируемых сооружений составила:

500 лет			1000 лет			5000 лет		
доли		балл	доли		балл	доли		балл
от	до		от	до		от	до	
6.6	7.0	7	7.1	7.6	7-8	8.0	8.4	8

8. Расчётные исследования устойчивости и прочности грунтовой плотины Егорлыкского водохранилища на ПК 10+00 при основном сочетании нагрузок показали, что нормативная устойчивость откосов обеспечена;

9. В соответствии с техническим заданием и дополнительными рекомендациями Аналитического центра расчёты выполнялись прямым динамическими методом по свойствам грунтов, полученных в рамках реализации договора №1210-239-2021/10-НИР-2021 ККГЭС/11-75-1324.

10. В целях уточнения положения депрессионной кривой в теле плотины необходимо расширить сеть фильтрационных наблюдений на низовом откосе плотины.

11. Для верификации результатов использованы расчётные комплексы PLAXIS 2D и ПК SEISMIC, которые показали хорошую сходимость результатов и доказали их возможность использования в качестве альтернативных;

12. Результаты расчетных исследований при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмического воздействия уровня МРЗ (методом прямой динамики) показали, что в зоне низового откоса плотины формируется зона пластических деформаций при этом, остаточные необратимые горизонтальные перемещения наблюдаются в средней части низового откоса плотины достигают 0,220 м. Остаточные вертикальные перемещения плотины локализованы преимущественно в пригребневой области плотины и достигают 0,216 м, также отмечается локализация остаточных перемещений в области бермы верхового откоса плотины до 0,14 м.

13. Необратимые деформации плотины при сейсмическом воздействии характеризуются развитием осадок на протяжении всего времени сейсмического воздействия, в ходе которого происходит нарастание осадок плотины, горизонтальные смещения имеют знакопеременный характер и формируют тренд развития необратимых деформаций;

14. Прогнозируемые значения остаточных смещений гребня плотины не превышают разницы отметок гребня плотины и НПУ (3 м). Вместе с тем, ввиду выполнения

расчетов только по одному сечению плотины, рекомендуется с использованием полученных в данном отчете акселерограмм, а также расчетных значений характеристик динамических свойств грунтов тела и основания плотины, полученных в АО "ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева" в 2022 г., провести расширенные исследования ее сейсмической устойчивости в нескольких наиболее опасных расчетных сечениях с составлением итогового заключения о необходимости проведения комплексной реконструкции сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М.: Наука и образование, 2012, 176 с.
2. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии. Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 711–736. doi: 10.5800/GT-2017-8-4-0314.
3. Белоусов Т.П., Чичагов В.П. Сейсмодислокации и природа очага Рачинского землетрясения 1991 года на юге Большого Кавказа. Физика Земли, 1993, № 3, 53 - 63.
4. Белоусов Т.П. Рачинское землетрясение 1991 года и его проявление в рельефе Большого Кавказа. М., Изд-во "Светоч Плюс", 2009, 208 с.
5. Евдокимова О.М. Константинопольское землетрясение 740–741 г. в контексте первого иконоборчества // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2012. № 12, ч. 2. С. 62–66.
6. Землетрясения в СССР в .... году (ежегодники 1971-1989 гг.), М.: Наука, 1973-1993.
7. Землетрясения России (ежегодники 2003-2020 гг.), Обнинск, ЕГС РАН.
8. Информационный отчет о работах в эпицентральной зоне Рачинского землетрясения за период 30 апреля – 20 мая 1991 года. ИФЗ АН СССР.Международная эпицентральная экспедиция. Они, 1991, 250 с.
9. Короновский Н.В. Современная геодинамика Кавказского сектора Альпийского пояса. Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов. Тезисы докладов XXIX Тектонического совещания. М., 1996, 67-68.
10. Костров Б.С. Механика очага тектонического землетрясения. М.,Наука, 1975, 176 с.
11. Лунина О. В. Влияние напряженного состояния литосферы на соотношения параметров сейсмогенных разрывов и магнитуд землетрясений// Геология и геофизика. 2001. № 42. 1389-1398.
12. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М., Недра, 1968, 483 с.
13. Никонов А.А. О сильных землетрясениях на Большом Кавказе в I тысячелетии н.э.: пересмотр исходных данных и каталога. Физика Земли, 1994, № 7-8, 107-112.
14. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М., Наука, 1977.
15. Оценка сейсмичности района и сейсмостойкости гидротехнических сооружений Сенгилеевской группы ГЭС. Волгоградский филиал ОАО "НИИЭС", 2014.
16. Палеосейсмогеология Большого Кавказа М., Наука, 1979, 188 с.
17. Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016. Инженерные изыскания, 2016, № 7, 49-121.
18. Рогожин Е.А. История активности сейсмогенерирующих структур Северной Евразии в голоцене. Докл. РАН. 2000. Т. 370, №3. С. 390-392.

19. Рогожин Е.А., Борисов Б.А., Богачкин Б.М. Рачинское землетрясение (Грузия, 29 апреля 1991 г.): материалы геологического обследования. ДАН СССР, 1991, т. 312, 353 - 358.
20. Рогожин Е.А., Арефьев С.С., Богачкин Б.М., Систернас А., Филипп Э. Комплексный анализ геологических и сейсмологических данных и сейсмотектоническое представление об очаге Рачинского землетрясения. Физика Земли, 1993, № 3, 70 - 77.
21. Солоненко В.П., Хромовских В.С. Мощные землетрясения Большого Кавказа. Природа, 1974, № 6, С. 4-18.
22. Стром А.Л. Сопоставление параметров современных и палеосейсмотектонических дислокаций. Физика Земли, 1993, № 9, 38 - 42.
23. Стром А.Л., Количественные характеристики сейсмогенных разрывов и их использование в палеосейсмогеологии и инженерной геологии. Канд. дисс. Москва, 1998, 186 стр.
24. Уломов В.И. О программно-математическом обеспечении построения карт вероятностного сейсмического районирования по методологии ОСР-97. Геофизические исследования: сб. научн. трудов Институт физики Земли РАН. Вып. 7. М.: ИФЗ РАН, 2007, С. 29-52.
25. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации-ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ. 1999. 57 с.
26. Уломов В.И., Шумилина Л.С., Трифонов В.Г., Гусев А.А. Предложения по уточнению сейсмической опасности, представленной на картах общего сейсмического районирования – ОСР // Отчет ОИФЗ РАН, 2002.
27. Уточнение исходной сейсмичности и сейсмическое микрорайонирование сооружений Сенгилеевской ГЭС Каскада Кубанских ГЭС. ЦСГНЭО, 2014.
28. Чипизубов А. В. Выделение одноактных и одновозрастных палеосейсмодислокаций и определение по их масштабам магнитуд палеоземлетрясений // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 3. 386-398.
29. Шебалин Н.В. Методы исаользования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании. Сейсмическое районирование СССР. М., Наука, 95-111.
30. Agliardi, F., Crosta, G.B., Frattini, P., Malus, M.G., 2013. Giant noncatastrophic landslides and the long-term exhumation of the European Alps. Earth. Planet. Sci. Lett. 365, 263-274.
31. Akkar, S. and Cagnan, Z., 2010. A local ground-motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global ground-motion models. Bulletin of the Seismological Society of America 100, 2978-2995
32. Akkar, S., Sandikkaya, M.A., Bommer, J.J. 2014. Empirical ground-motion models for point- and extended source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. Bull Earthq Eng 12:359–387
33. Assimaki, D., Gazetas, G., 2004. Soil and topographic amplification on canyon banks and the 1999 Athens earthquake. J. Earthquake Eng. 8 (1), 1-43.

34. Chiou, B. S. J. and Youngs, R. R., 2008. Chiou-Youngs NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters, Earthquake Spectra 24, 173–215.
35. Scholz, C.H. The Mechanics of Earthquakes and faulting. Cambridge University Press., 1990, 439 p.
36. Strom A. L. 2004. Rock avalanches of the Ardon River valley at the southern foot of the Rocky Range, Northern Caucasus, North Osetia. Landslides, 1, 237–241.
37. Ulomov V.I., Shumilina L.S., Trifonov V.G. et al. 1999. Seismic Hazard of Northern Eurasia// Annali di Geofisica. vol. 42, N6, 1023-1038.
38. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rup-ture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am., 84, 974 - 1002, 1994.
39. Zhao JX, Zhang J, Asano A, Ohno Y, Oouchi T, Takahashi T, Ogawa H, Irikura K, Thio HK, Somerville PG, Fukushima Y (2006) Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classifications based on predominant period. Bull Seismol Soc Am 96:898–913
40. Применение сейсмоакустических методов и гидрогеологии и инженерной геологии. Под редакцией Н.Н. Горяинова. Москва «Недра» 1992 г.
41. Методические указания по комплексным сейсмогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям с применением портативных сейсморазведочных установок. Г.Н. Назаров. Москва 1969 г
42. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмическими методами. Утверждено Н.Б. Соколов. Москва 1985 г.
43. Упругие свойства породообразующих минералов и горных
44. Инженерно-топографический план. Плотина Егорлыкского водохранилища. Обследование потенциально неустойчивых массивов плотины Егорлыкского водохранилища. ООО «Ставропольское топографо-геодезическое предприятие», 2018;
45. Технический отчет «Обследование и оценка состояния плотины Егорлыкского водохранилища» Этап 3. Построение расчетной модели «плотина-основание». Выполнение расчетов сооружения на основное и особое сочетание нагрузок. АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2016;
46. Технический отчет «Инженерно-геологические изыскания тела грунтовой плотины и основания Егорлыкского водохранилища». АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2021;
47. Бестужева А.С. Сейсмостойкость грунтовых плотин /дис. на соиск.уч.степ. канд. техн. наук: 05.23.07 /Москва. - 1994. - 189 с. -.На правах рукописи УДК 627.8 Библиотека НИУ МГСУ;
48. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин// Изд-во АСВ, Москва. – 2001. – 384с;
49. Бестужева А.С. Расчет сейсмостойкости сооружений. Учебное пособие /Москва: МИСИ-МГСУ, 2020. http://lib-04.gic.mgsu.ru/lib/2020/116.pdf.

Приложение 1. Техническое задание

Приложение № 1
к Договору возмездного оказания услуг
от «_30_» __03__ 2022 г. № 12-НИР-2022-ККГЭС

Задание на оказание Услуг

1. Наименование услуг:

1.1. Оценка прочности и устойчивости плотины с учетом уточненных данных о сейсмичности района плотины Егорлыкского водохранилища.

2. Заказчик (подразделение Заказчика):

2.1. ПАО «РусГидро», для нужд филиала ПАО «РусГидро» - «Каскад Кубанских ГЭС» (далее – Филиал) - Ставропольский край, г. Невинномысск ул. Водопроводная 360а.

2.2. Место оказания услуг:

2.2.1. Плотина Егорлыкского водохранилища: – Россия, Ставропольский край, Шпаковский район, село Сенгилеевское.

2.3. Подразделение куратор: Служба мониторинга оборудования и гидротехнических сооружений.

3. Цели и задачи. Существующее положение.

3.1. Цели и задачи оценки прочности и устойчивости плотины с учетом уточненных данных о сейсмичности района плотины Егорлыкского водохранилища:

3.1.1. Задачами являются:

Сейсмологические и сейсмотектонические исследования должны обеспечить оценку ожидаемых параметров зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ) в районе расположения плотины. Сейсмическое микрорайонирование должно обеспечить влияние местных грунтовых условий на параметры сейсмического движения грунта. Оценку сейсмостойкости плотины провести динамическим методом. Поскольку пересчет ожидаемых баллов в ускорения неоднозначен, оценку ожидаемых параметров сейсмического движения грунта провести на основании эмпирических связей параметров сейсмического движения грунта (амплитуды ускорения, спектр, огибающая и продолжительность колебаний) от параметров очага землетрясения (магнитуда, механизм, кратчайшее расстояние до разлома и грунтовых условий на строительной площадке (СП 286.1325800.2016; СП 14.13330.2018).

3.1.2. Целями являются:

- Выделение зон ВОЗ, землетрясения в которых представляют опасность для плотины.
- Оценка характеристик выделенных зон ВОЗ: максимальной магнитуды, глубины очага, механизма очага.
- Оценка параметров сейсмического режима территории; оценка максимальной магнитуды.
- Оценка сейсмических свойств грунтов на площадке.
- Оценка количественных параметров сейсмического движения грунта на площадке: преобладающего периода колебаний, пикового ускорения грунта, продолжительности колебаний, а также соответствующих характеристик колебаний в скоростях и смещениях.
- Построение спектра реакции с учетом результатов сейсмического микрорайонирования участка расположения плотины, рекомендуемого для расчета сейсмостойкости плотины.
- Построение трехкомпонентных акселерограмм ожидаемых землетрясений для периодов повторяемости, регламентируемых нормативными документами для гидротехнических сооружений при расчетах сейсмостойкости плотины.

3.2. Существующее положение:

3.2.1. класс гидротехнических сооружений согласно Постановлению Правительства РФ от 05.10.2020 N 1607 "об утверждении критериев классификации гидротехнических сооружений": Егорлыкская ГЭС – II;

Передано через Диадок 24.03.2022 15:31 GMT+03:00
093a913c-a2cc-4d76-93fe-93838fa409fa
Страница 18 из 32

3.2.2. перечень объектов: работы, подлежащие к выполнению в отношении следующих объектов: плотина Егорлыкской ГЭС (Инв. КК0000250).

3.3. Основание для оказания услуг:

3.3.1. Федеральный закон № 117-ФЗ от 21.07.1997 «О безопасности гидротехнических сооружений» .

3.3.2. Акт преддекларационного обследования ГТС от 26 апреля 2019 года (п. 7 мероприятий по обеспечению безопасности ГТС Егорлыкской ГЭС).

4. Требования к услугам (технические и иные характеристики):

4.1. Анализ проектной документации, результатов изысканий, научно-исследовательских работ, выполненных на стадии проектирования и эксплуатации плотины Егорлыкского водохранилища. Подбор и анализ проектно-технической документации осуществляется Исполнителем в техническом архиве Филиала по предварительному запросу.

4.2. Оценка параметров сейсмических воздействий должна быть произведена по результатам уточнения сейсмичности района расположения плотины – выделенных зон ВОЗ и их характеристик.

4.3. Спектр реакции (целевой) должен быть построен в соответствии с прогнозными оценками количественных параметров колебаний ожидаемых землетрясений, наиболее опасных для плотины, и с учетом результатов сейсмического микрорайонирования.

4.4. Синтетическая трехкомпонентная акселерограмма для расчета сейсмостойкости должна иметь спектр, учитывающий вариации параметров сейсмических колебаний, т.е. одна синтетическая акселерограмма должна заменять пять подобранных реальных акселерограм. Синтетическая акселерограмма должна удовлетворять следующим критериям пригодности:

4.4.1. Коэффициент корреляции различных компонент не должен превышать 0.3 (СП 14.13330.2018).

4.4.2. Спектры компонент синтетической акселерограммы не должны отличаться от целевого спектра более, чем на 10% (НП-031-01).

4.5. Предварительно, до предоставления технического отчета в адрес Заказчика, согласование проекта технического отчета с Аналитическим Центром ПАО «РусГидро» (структурное подразделение в АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»).

5. Сроки оказания Услуг:

5.1. Начало оказания услуг– с даты заключения Договора

5.2. Окончание оказания услуг - 15.12.2022.

6. Требования, предъявляемые к Исполнителю:

6.1. Исполнитель должен являться членом саморегулируемой организации (СРО), основанной на членстве лиц, выполняющих инженерные изыскания в отношении особо опасных и технически сложных объектов капитального строительства.

6.2. Исполнитель должен иметь в штате или привлекать по договорам гражданско-правового характера не менее 3-х специалистов с высшим профессиональным образованием по следующим специальностям (квалификации): «Гидротехническое строительство», с опытом работы не менее 3 лет в проведении комплексных исследований и анализе состояния гидротехнических сооружений энергетического назначения (не менее двух человек, включенных национальный реестр специалистов).

Исполнитель должен иметь в штате или привлекать по договорам гражданско-правового характера не менее двух специалистов прошедший аттестацию в Ростехнадзоре (область аттестации А.1, В.2).

6.3. Исполнитель должен иметь в собственности или на ином законном основании сертифицированные приборные комплексы в количестве не менее одного по каждому виду исследований, аппаратуру для проведения специальных исследований и пр. виды оборудования (в соответствии с предварительной Программой).

Передано через Диадок 24.03.2022 15:31 GMT+03:00
093a913c-d2ce-4d76-93fe-93838fa409fa
Страница 19 из 32

7. Результат оказанных услуг (отчетные документы).

7.1. По окончании оказания услуг представить технический отчет, который должен содержать результаты проведенных специальных исследований, полученных расчетных акселерограмм землетрясений уровней ПЗ и МРЗ, учитывающих особенности расположения и геологического строения конкретного расчетного сечения плотины Егорлыкского водохранилища.

7.2. Отчёт в обязательном порядке должен содержать информацию: о применённом оборудовании, программных средствах, о методиках проведения исследований, расчетов, указанных в требованиях к закупаемым услугам п. 4., в соответствии с целями и задачами оценки прочности и устойчивости плотины с учетом уточненных данных о сейсмичности района плотины Егорлыкского водохранилища п. 3. настоящих Технических требований.

7.3. Вся документация должна быть представлена на бумажном носителе в 2-х оригинальных экземплярах и на электронном носителе в форматах *.dwg, *.vsd, *.doc, *.pdf, *.xls.

8. Требования к документации по ценообразованию.

При определении стоимости услуг и оформлении сметной документации применять в обязательном порядке «Требования к оформлению и составлению смет или расчетов на оказание услуг по программе научно-исследовательских работ» приложение № 1 к Техническим требованиям.

Приложения:

1. Требования к оформлению и составлению смет или расчетов на оказание услуг по программе научно-исследовательских работ.

Передан через Диадок 24.03.2022 15:31 GMT+03:00
093a913c-d2ce-4d76-93fe-93838fa409fa
Страница 20 из 32

Приложение 2. Выписка из реестра членов СРО, сертификаты СМК и СЭМ, сертификаты соответствия оборудования

НОПРИЗ

АССОЦИАЦИЯ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ОБЩЕРОССИЙСКАЯ НЕГОСУДАРСТВЕННАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ – ОБЩЕРОССИЙСКОЕ МЕЖОТРАСЛЕВОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ РАБОТОДАТЕЛЕЙ «НАЦИОНАЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ЧЛЕНСТВЕ ЛИЦ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, И САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ЧЛЕНСТВЕ ЛИЦ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПОДГОТОВКУ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ»

ВЫПИСКА

из единого реестра сведений о членах саморегулируемых организаций в области инженерных изысканий и в области архитектурно-строительного проектирования и их обязательствах

7743714777-20221123-1551
(регистрационный номер выписки)

23.11.2022
(дата формирования выписки)

Настоящая выписка содержит сведения о юридическом лице (индивидуальном предпринимателе)

Акционерное общество "Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт "Гидропроект" имени С.Я. Жука"
(полное наименование юридического лица/ФИО индивидуального предпринимателя)

5087746440766
(основной государственный регистрационный номер)

№ п/п	Наименование	Сведения
С 14.01.2010 является членом СРО Ассоциация саморегулируемая организация «Центральное объединение организаций по инженерным изысканиям для строительства «Центризыскания» (СРО-И-003-14092009)		

1	Сведения о члене саморегулируемой организации: идентификационный номер налогоплательщика, полное и сокращенное наименование юридического лица, адрес места нахождения, фамилия, имя, отчество индивидуального предпринимателя, место фактического осуществления деятельности, единый регистрационный номер члена саморегулируемой организациии дата его регистрации в реестре	7743714777, Акционерное общество "Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт "Гидропроект" имени С.Я. Жука", АО "Институт Гидропроект", 125993, г. Москва, Волоколамскоеш., д. 2, И-003-007743714777-0311, 14.01.2010
2	Дата и номер решения о приеме в члены саморегулируемой организации, дата вступления в силу решения о приеме в члены саморегулируемой организации	14.01.2010; Протокол № 15, 14.01.2010
3	Дата и номер решения об исключении из членов саморегулируемой организации, основания исключения	
4	Сведения о наличии у члена саморегулируемой организации права выполнять инженерные изыскания:	
	а) в отношении объектов капитального строительства (кроме особо опасных, технически сложных и уникальных объектов, объектов использования атомной энергии);	Да, 14.01.2010
	б) в отношении особо опасных, технически сложных и уникальных объектов капитального строительства (кроме объектов использования атомной энергии);	Да 14.01.2010

	в) в отношении объектов использования атомной энергии	Да 14.01
5	Сведения об уровне ответственности члена саморегулируемой организации по обязательствам по договору подряда на выполнение инженерных изысканий, в соответствии с которым указанным членом внесен взнос в компенсационный фонд возмещения вреда	Третий уровень ответственности (не превышает триста миллионов рублей)
6	Сведения о приостановлении права выполнять инженерные изыскания в отношении объектов капитального строительства	
7	Дата, с которой член саморегулируемой организации имеет право выполнять инженерные изыскания по договорам подряда, заключаемым с использованием конкурентных способов заключения договоров, в соответствии с которым указанным членом внесен взнос в компенсационный фонд обеспечения договорных обязательств	01.07.2017
	Дата уплаты дополнительного взноса	Нет

8	Сведения об уровне ответственности члена саморегулируемой организации по обязательствам по договорам подряда на выполнение инженерных изысканий, заключаемым с использованием конкурентных способов заключения договоров, в соответствии с которым указанным членом внесен взнос в компенсационный фонд обеспечения договорных обязательств	Третий уровень ответственности (не превышает триста миллионов рублей)
9	Сведения о приостановлении права выполнять инженерные изыскания по договорам подряда, заключаемым с использованием конкурентных способов заключения договоров	
10	Фактический совокупный размер обязательств по договорам подряда на выполнение инженерных изысканий, заключаемым с использованием конкурентных способов заключения договоров на дату выдачи выписки (руб.)	Нет

Руководитель Аппарата



А.О. Кожуховский

TÜV NORD

СЕРТИФИКАТ

Системы менеджмента в соответствии с
ISO 9001 : 2015

По результатам проведенного аудита и оценки, а также на основании решения о сертификации, принятого в соответствии с ISO/IEC 17021-1:2015, сертификационный орган TÜV NORD CERT GmbH подтверждает, что система менеджмента организации

Филиал Акционерного Общества «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» имени С.Я. Жука» - «Центр службы геодинамических наблюдений в энергетической отрасли»
Волоколамское шоссе, 2
125993 г. Москва
Российская Федерация

Институт Гидропроект

соответствует требованиям стандарта ISO 9001 : 2015 и данное соответствие контролируется в течение 3 лет действия сертификата.
Сертифицированная система менеджмента является системой менеджмента всей сертифицированной организации.

Область действия:

Научно-исследовательские работы и оказание услуг по инженерным изысканиям, оценке сейсмической опасности, проектным и расчётным работам для объектов гидро-, тепло- и атомной энергетики.

Регистрационный номер сертификата: 44 100 201536-001
Отчёт об аудите №: 3529 4091

Действителен с: 2021-04-17
Действителен до: 2024-04-16

Сертификационный орган
TÜV NORD CERT GmbH

г. Эссен, 2021-08-17

Данный сертификат действителен только вместе с основным сертификатом.
Достоверность можно проверить по адресу https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/zertifizierung/zertifikatsdatenbank.

TÜV NORD CERT GmbH Langemarckstraße 20 45141 Essen www.tuev-nord-cert.com

IAF DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-ZM-12007-01-00

TÜV NORD

СЕРТИФИКАТ

Системы менеджмента в соответствии с
ISO 14001 : 2015

По результатам проведенного аудита и оценки, а также на основании решения о сертификации, принятого в соответствии с ISO/IEC 17021-1:2015, сертификационный орган TÜV NORD CERT GmbH подтверждает, что система менеджмента организации

Филиал Акционерного Общества «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» имени С.Я. Жука» - «Центр службы геодинамических наблюдений в энергетической отрасли»
Волоколамское шоссе, 2
125993 г. Москва
Российская Федерация

Институт Гидропроект

соответствует требованиям стандарта ISO 14001 : 2015 и данное соответствие контролируется в течение 3 лет действия сертификата.
Сертифицированная система менеджмента является системой менеджмента всей сертифицированной организации.

Область действия:

Научно-исследовательские работы и оказание услуг по инженерным изысканиям, оценке сейсмической опасности, проектным и расчётным работам для объектов гидро-, тепло- и атомной энергетики.

Регистрационный номер сертификата: 44 104 201536-001
Отчёт об аудите №: 3529 4092

Действителен с: 2021-05-19
Действителен до: 2024-05-18

Сертификационный орган
TÜV NORD CERT GmbH

г. Эссен, 2021-08-17

Данный сертификат действителен только вместе с основным сертификатом.
Достоверность можно проверить по адресу https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/zertifizierung/zertifikatsdatenbank.

TÜV NORD CERT GmbH Langemarckstraße 20 45141 Essen www.tuev-nord-cert.com

IAF DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-ZM-12007-01-00



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

ОС.С.34.165.А № 72723

Срок действия до 08 февраля 2024 г.

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Регистраторы сейсмических сигналов "Дельта-03"

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Общество с ограниченной ответственностью "Логические Системы" (ООО "ЛогиС"), г. Москва

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № **73903-19**

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ
ИТЛЯ.416611.004-02 МП

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ **2 года**

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от **08 февраля 2019 г. № 204**

Описание типа средств измерений является обязательным приложением к настоящему свидетельству.

Заместитель Руководителя
Федерального агентства А.В.Кулешов

«18» 02 2019 г.

Серия СИ № 034457

Приложение 3. Логическое дерево

Линейная зона ВОЗ (номер на Рис. 4.5 и в табл. 4.6)	CONF A,B,C,D	Кин. Тип	RATE 1, 2, 3	Полная длина (км)	Активизируется целиком или частями	Расчетная длина (L, км)	M=a+b× (Log L) a(R)=4.49 a(N)=4.34 a(S)=4.33 b(R)=1.49 b(N)=1.54 b(S)=1.49	M_{max} ±0.2 (6.0, 6.5, 7.0, 7.5)	Вес	Период повторяемости	Накопленное смещение Dcum (м)	Возможно ли (с учетом величины подвижки) (ДА / НЕТ)	Вес	Вес Итоговый
1	C, D	N	3	96	Целиком	96	7.4	7.5	0					
					Частично 1/2	48	6.9	7.0	0.1	500	0.05	НЕТ		
										1000	0.1	НЕТ		
										5000	0.5	ДА	1	0.1
					Частично 1/4	24	6.5	6.5	0.3	500	0.05	ДА	0.333	0.1
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1
					Частично 1/8	12	6.0	6.0	0.6	500	0.05	ДА	0.333	0.2
										1000	0.1	ДА	0.333	0.2
										5000	0.5	ДА	0.333	0.2
2	C, D	U	3	34	Целиком	34	6.7	6.5	0.3	500	0.05	ДА	0.333	0.1
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1
					Частично 1/3	11	6.0	6.0	0.7	500	0.05	ДА	0.333	0.2331
										1000	0.1	ДА	0.333	0.2331
										5000	0.5	ДА	0.333	0.2331
					Частично 1/5	7	5.6	5.5	0					
3	C, D	U	3	39	Целиком	39	6.7	6.5	0.3	500	0.05	ДА	0.333	0.1
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1
										5000	0.5	НЕТ	0.333	0.1
					Частично 1/3	13	6.0	**6.**0	0.7	500	0.05	ДА	0.333	0.2331
										1000	0.1	ДА	0.333	0.2331
										5000	0.5	НЕТ	0.333	0.2331
					Частично 1/5	8	5.7	5.5	0					
4	B, C, D	R	3	92	Целиком	92	7.4	7.5	0					
					Частично 1/2	46	7.0	7.0	0.1	500	0.05	НЕТ		
										1000	0.1	НЕТ		
										5000	0.5	ДА	1	01
					Частично 1/4	23	6.5	6.5	0.4	500	0.05	ДА	0.333	0.13332
										1000	0.1	ДА	0.333	0.133320.2
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1333200.2
					Частично 1/8	11	6.1	6.0	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
5	C, D	U	3	53	Целиком	53	7.0	7.0	0					
					Частично 1/2	27	6.5	6.5	0.3	500	0.05	ДА	0.333	0.1
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1
					Частично 1/4	13	6.1	6.0	0.7	500	0.05	ДА	0.333	0.2331
										1000	0.1	ДА	0.333	0.2331
										5000	0.5	ДА	0.333	0.2331
6	B, C	S	3	46	Целиком	46	6.8	7.0	0.1	500	0.05	НЕТ		
										1000	0.1	ДА	0.5	0.05
										5000	0.5	ДА	0.5	0.05
					Частично 1/2	23	6.4	6.5	0.4	500	0.05	ДА	0.333	0.13332
										1000	0.1	ДА	0.333	0.133320.2
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1333200.2
					Частично 1/4	11	5.9	6.0	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
7	C, D	S	3	53	Целиком	53	6.9	7.0	0					
					Частично 1/2	26	6.4	6.5	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
					Частично 1/4	13	6.0	6.0	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
8	C, D	U	3	50	Целиком	50	6.9	7.0	0					
					Частично 1/2	25	6.5	6.5	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
					Частично 1/4	13	6.0	6.0	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
9	C, D	U	3	27	Целиком	27	6.5	6.5	0.3	500	0.05	ДА	0.333	0.1
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1
					Частично 1/2	14	6.1	6.0	0.7	500	0.05	ДА	0.333	0.2331
										1000	0.1	ДА	0.333	0.2331
										5000	0.5	ДА	0.333	0.2331
					Частично 1/4	7	5.6	5.5	0					
10	C, D	S	3	44	Целиком	44	6.8	7.0	0					
					Частично 1/2	22	6.3	6.5	0.3	500	0.05	ДА	0.333	0.1
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1
					Частично 1/4	11	5.9	6.0	0.7	500	0.05	ДА	0.333	0.2331
										1000	0.1	ДА	0.333	0.2331
										5000	0.5	ДА	0.333	0.2331

Линейная зона ВОЗ (номер на Рис. 4.5 и в табл. 4.6)	CONF A,B,C,D	Кин. Тип	RATE 1, 2, 3	Полная длина (км)	Активизируется целиком или частями	Расчетная длина (L, км)	M=a+b× (Log L) a(R)=4.49 a(N)=4.34 a(S)=4.33 b(R)=1.49 b(N)=1.54 b(S)=1.49	M_{max} ±0.2 (6.0, 6.5, 7.0, 7.5)	Вес	Период повторяемости	Накопленное смещение Dcum (м)	Возможно ли (с учетом величины подвижки) (ДА / НЕТ)	Вес	Вес Итоговый
11	C, D	U	3	21	Целиком	21	6.3	6.5	0.2	500	0.05	ДА	0.333	0.0666
										1000	0.1	ДА	0.333	0.0666
										5000	0.5	ДА	0.333	0.06660.3
					Частично 1/2	10	5.9	6.0	0.8	500	0.05	ДА	0.333	0.26664
										1000	0.1	ДА	0.333	0.26664
										5000	0.5	ДА	0.333	0.26664
					Частично 1/4	5	5.4	5.5	0					
12	B, C, D	R	3	39	Целиком	39	6.9	7.0	0.5	500	0.05	НЕТ		
										1000	0.1	ДА	0.5	0.25
										5000	0.5	ДА	0.5	0.25
					Частично 1/2	19	6.4	6.5	0.4	500	0.05	ДА	0.333	0.13332
										1000	0.1	ДА	0.333	0.133320.2
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1333200.2
					Частично 1/4	10	6.0	6.0	0.1	500	0.05	ДА	0.333	0.03333
										1000	0.1	ДА	0.333	0.03333
										5000	0.5	ДА	0.333	0.0333
13	C, D	R	3	59	Целиком	59	7.1	7.0	0					
					Частично 1/2	30	6.7	6.5	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
					Частично 1/4	15	6.2	6.0	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
14	C	U	3	42	Целиком	42	6.8	7.0	0.2	500	0.05	НЕТ		
										1000	0.1	ДА	0.5	0.1
										5000	0.5	ДА	0.5	0.1
					Частично 1/3	21	6.4	6.5	0.4	500	0.05	ДА	0.333	0.133
										1000	0.1	ДА	0.333	0.133
										5000	0.5	ДА	0.333	0.133
					Частично 1/5	11	5.9	6.0	0.4	500	0.05	ДА	0.333	0.133
										1000	0.1	ДА	0.333	0.133
										5000	0.5	ДА	0.333	0.133
15	B, C, D	U	3	48	Целиком	48	6.9	7.0	0.2	500	0.05	НЕТ		
										1000	0.1	НЕТ		
										5000	0.5	ДА	1	0.2
					Частично 1/2	24	6.4	6.5	0.4	500	0.05	НЕТ	0.333	0.133
										1000	0.1	НЕТ	0.333	0.133
										5000	0.5	ДА	0.333	0.133
					Частично 1/4	12	5.9	6.0	0.4	500	0.05	НЕТ	0.333	0.133
										1000	0.1	ДА	0.333	0.133
										5000	0.5	ДА	0.333	0.133
16	B, C	S	3	55	Целиком	55	6.9	7.0	0.3	500	0.05	НЕТ		
										1000	0.1	НЕТ		
										5000	0.5	ДА	1	0.3
					Частично 1/2	27	6.5	6.5	0.4	500	0.05	ДА	0.333	0.133
										1000	0.1	ДА	0.333	0.133
										5000	0.5	ДА	0.333	0.133
					Частично 1/4	14	6.0	6.0	0.3	500	0.05	ДА	0.333	0.1
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1
17	C, D	U	3	62	Целиком	62	7.0	7.0	0					
					Частично 1/2	31	6.6	6.5	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
					Частично 1/4	15	6.2	6.0	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0,1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0,1666
18	B, C	R	3	67	Целиком	67	7.2	7.0	0.3	500	0.05	НЕТ		
										1000	0.1	НЕТ		
										5000	0.5	ДА	1	0.3
					Частично 1/3	22	6.5	6.5	0.7	500	0.05	ДА	0.333	0.2331
										1000	0.1	ДА	0.333	0.2331
										5000	0.5	ДА	0.333	0.2331
					Частично 1/5	13	6.2	6.0	0	Магнитуда меньше зарегистрированной				
19	A, B	R	1	103	Целиком	103	7.5	7.5	0.3	500	2.5	ДА	0.5	0.15
										1000	5	ДА	0.5	0.15
										5000	25	НЕТ		
					Частично 1/2	52	7.0	7.0	0.4	500	2.5	ДА	0.5	0.2
										1000	5	ДА	0.5	0.2
										5000	25	НЕТ		
					Частично 1/4	26	6.6	6.5	0.3	500	2.5	ДА	1	0.3
										1000	5	НЕТ		
										5000	25	НЕТ		
20	C, D	S	3	80	Целиком	80	7.2	7.0	0					
					Частично 1/2	40	6.5	6.5	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0.1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1666
					Частично 1/4	20	6.1	6.0	0.5	500	0.05	ДА	0.333	0.1666
										1000	0.1	ДА	0.333	0.1666
										5000	0.5	ДА	0.333	0.1666
21	B, C	R	2	89	Целиком	89	7.4	7.5	0.4	500	0.5	НЕТ	0.333	0.133
										1000	1.0	ДА	0.333	0.133
										5000	5.0	ДА	0.333	0.133

Линейная зона ВОЗ (номер на Рис. 4.5 и в табл. 4.6)	CONF A,B,C,D	Кин. Тип	RATE 1, 2, 3	Полная длина (км)	Активизируется целиком или частями	Расчетная длина (L, км)	M=a+b× (Log L) a(R)=4.49 a(N)=4.34 a(S)=4.33 b(R)=1.49 b(N)=1.54 b(S)=1.49	M_{max} ±0.2 (6.0, 6.5, 7.0, 7.5)	Вес	Период повторяемости	Накопленное смещение Dcum (м)	Возможно ли (с учетом величины подвижки) (ДА / НЕТ)	Вес	Вес Итоговый
					Частично 1/2	45	6.9	7.0	0.5	500	0.5	ДА	0.333	0.1666
										1000	1.0	ДА	0.333	0.1666
										5000	5.0	ДА	0.333	0.1666
					Частично 1/4	22	6.5	6.5	0.1	500	0.5	ДА	0.5	0.05
										1000	1.0	ДА	0.5	0.05
										5000	5.0	НЕТ		
22	B, C	R	2	60	Целиком	59	7.1	7.0	0.3	500	0.5	ДА	0.333	0.1
										1000	1.0	ДА	0.333	0.1
										5000	5.0	ДА	0.333	0.1
					Частично 1/2	29	6.7	6.5	0.4	500	0.5	ДА	0.333	0.1666
										1000	1.0	ДА	0.333	0.1666
										5000	5.0	ДА	0.333	0.1666
					Частично 1/4	15	6.2	6.0	0.3	500	0.5	ДА	0.5	0.15
										1000	1.0	ДА	0.5	0.15
										5000	5.0	НЕТ		
23	C, D	U	3	22	Целиком	22	6.4	6.5	0.2	500	0.05	ДА	0.333	0.0666
										1000	0.1	НЕТ	0.333	0.0666
										5000	0.5	ДА	0.333	0.0666
					Частично 1/2	11	5.9	6.0	0.8	500	0.05	ДА	0.333	0,2666
										1000	0.1	ДА	0.333	0,2666
										5000	0.5	ДА	0.333	0.2666
					Частично 1/4	5	5.5	5.5	0					