

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ  
РЕСПУБЛИКИ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ им. М.М. АДЫШЕВА  
И ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ НАН КР**

**ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ Д 25.17.555**

На правах рукописи  
УДК 551.761(575.3)

**ИЛЬЯСОВА Зухра Гуловна**

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОЦЕНКА  
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ  
ТАДЖИКИСТАНА**

25.00.10 - Геофизика, геофизические методы  
поиска полезных ископаемых

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Бишкек – 2017

Работа выполнена в Институте геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук  
**Абдрахматов Канатбек Ермакович**

**Официальные оппоненты:** доктор физико-математических наук,  
профессор  
**Токтосопиев Алымбай Молдокматович**  
кандидат геолого-минералогических наук  
**Чаус Александр Константинович**

**Ведущая организация:** Научная станция Российской академии наук  
в г. Бишкек  
Адрес: 720049, Кыргызстан,. Бишкек-49

Защита состоится «26» декабря 2017 г. в 14.00 часов на заседании Совета по защите диссертаций Д. 25.17.555 при Институтах геологии и сейсмологии НАН КР по адресу: 720481, г. Бишкек, бул. Эркиндик, 30.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Института геологии им. М.М. Адышева НАН КР, по адресу: 720481, г. Бишкек, бульвар Эркиндик, 30 и на сайтах [www.vak.kg](http://www.vak.kg) и [www.disignan.com.kg](http://www.disignan.com.kg).

Тел.: (+996 312) 664737; e-mail: [ig.dissovet.kg@gmail.com](mailto:ig.dissovet.kg@gmail.com).

Автореферат разослан «26» ноября 2017 г.

**Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
кандидат геол.-минер. наук**

**Д. Тиленова**

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Диссертационная работа посвящена проблеме оценки сейсмической опасности территории Таджикистана на основе анализа геологических и сейсмических особенностей с использованием современных компьютерных технологий и методов.

**Актуальность работы.** Действующая карта сейсмической опасности территории Таджикистана в значениях интенсивности сотрясений в баллах шкалы MSK-64 была принята в качестве нормативного документа в 1978 г. Позже, в 1984 г. (Бабаев А.М. и др.) была составлена новая карта сейсмогенерирующих зон территории Таджикистана (зон ВОЗ – зон возникновения очагов землетрясений). Однако, карта сейсмической опасности на ее основе так и не была построена.

В связи с этим возникла необходимость выполнить оценку сейсмической опасности для территории Таджикистана с использованием современных методов, основываясь на созданной в 1990 г. последней карте сейсмогенерирующих зон. Для этого, с учетом изучения особенностей геологического строения, сейсмичности, появления новых компьютерных технологий и методов обработки геологической и сейсмической информации были выполнены работы по составлению новых карт сейсмической опасности в единицах интенсивности шкалы MSK-64 и в значениях пиковых ускорений грунта.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами.** Значительная часть диссертационной работы проводилась соискателем в рамках проекта МНТЦ # KR1176 «Инициатива по оценке сейсмического риска в Центральной Азии» (CASRI) в 2006-2009 гг. и в рамках бюджетной НИР Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ (ныне Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ) «Сейсмическая опасность и прогноз последствий сильных землетрясений для горных районов Таджикистана» в 2006 -2010 гг.

**Цели и задачи исследований.** Основная цель исследований – на основе современных методов и использования ГИС технологий оценить сейсмическую опасность территории Таджикистана как с учетом исходных параметров, заложенных в действующей карте сейсмического районирования, являющейся нормативным документом, так и с учетом современных требований к оценке сейсмической опасности. Для этого решались следующие задачи.

1. Создать современную ГИС базу геологических и сейсмологических данных для территории Таджикистана, как основу для оценки сейсмической опасности с использованием компьютерных технологий.

2. Составить, на базе существующей карты сейсмогенерирующих зон, новую карту сейсмической опасности территории Таджикистана в соответствии с современными международными требованиями.
3. В соответствии с рекомендациями Международной комиссии по большим плотинам выполнить вероятностную оценку сейсмической опасности (ВОСО) района расположения каскада ГЭС на р. Вахш, как наиболее важного объекта на территории Таджикистана.

#### **Научная новизна полученных результатов.**

1. Впервые проведена оценка сейсмической опасности территории Таджикистана с использованием ГИС технологий и современных методов расчета сейсмических воздействий на основе современных уравнений затухания сейсмических колебаний как в единицах пиковых ускорений грунта, так и в интенсивности сотрясений в баллах шкалы MSK-64.
2. Впервые выполнена вероятностная оценка сейсмической опасности (ВОСО) района расположения каскада ГЭС на р. Вахш в соответствии с требованиями Международной комиссии по большим плотинам (ICOLD).

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Впервые создана ГИС база геологических и сейсмологических данных для территории Таджикистана, позволяющая применять современные методы оценки сейсмической опасности, широко используемые в мировой практике.
2. Предлагается способ использования современных ГИС технологий для расчета сейсмических воздействий на изучаемой территории с учетом современных методов оценки сейсмической опасности, позволяющий значительно повысить точность оценок.
3. На основе проведенных исследований по ВОСО района каскада ГЭС на р. Вахш предлагается набор карт сейсмических воздействий на данной территории в значениях различных спектральных ускорений с различными периодами повторяемости в соответствии с требованиями Международной комиссии по большим плотинам ICOLD.

**Практическая значимость полученных результатов.** Предлагается метод оценки сейсмических воздействий с использованием ГИС технологий, позволяющий получать расчетное значение ускорений или интенсивности сотрясений на изучаемой территории в ячейках с задаваемым размером (например, 500м x 500м, 1км x 1км и т.д.), что значительно уточняет оценку сейсмической опасности при проектировании и строительстве различных зданий и сооружений.

**Личный вклад соискателя.** Автор участвовал в создании ГИС базы геологических и сейсмологических данных для территории Таджикистана. Самостоятельно выполнял расчеты сейсмических воздействий с

использованием ГИС технологий, а также готовил входные параметры для расчетов (параметры сейсмических источников – положение, тип, максимальная и минимальная магнитуда, параметры сейсмической активности) и сами расчеты при помощи специализированной программы для вероятностной оценки сейсмической опасности CRISIS2007.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертации докладывались на различных международных конференциях и встречах: Научная конференция к 20-летию Государственной независимости Республики Таджикистан и 60-летию образования Академии Наук Республики Таджикистан. Душанбе. 2011; Пятый международный симпозиум к 75-летию со дня рождения Ю.А. Трапезникова "Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов", 19 июня – 24 июня, 2011; Научная конференция "Современные вопросы геодинамики и минерогенеза Памиро-Тянь-Шаня". Душанбе. 2012; International Symposium on Earth Observation for Arid and Semi-Arid Environments (ISEO). The seismic hazard assessment of the territory of Tajikistan. Kashgar, China. 20-22 September. 2012; The 33<sup>rd</sup> General Assembly of the European Seismological Commission (GA ESC). The Seismic Hazard Estimation of the Hydroelectric Power Plants on the Vakhsh River, Tajikistan. Moscow. August 19-24. 2012; Международная конференция "Безопасность гидротехнических сооружений в сейсмически опасных районах". Душанбе. 29-30 ноября. 2013; The 35<sup>th</sup> anniversary of Research Station RAS in Bishkek and 15<sup>th</sup> anniversary of International Research Center – Geodynamic Proving Ground. Bishkek, June 23-29. 2014.

**Публикации.** Основные положения диссертации, промежуточные результаты опубликованы в 15 статьях в различных сборниках и журналах местных изданий и ближнего зарубежья и в одной монографии.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов и списка использованной литературы. Текст диссертации содержит 113 стр., 32 иллюстрации, 4 таблицы и 85 наименований библиографических источников.

**Работа выполнена** в Институте геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии, Академии наук Республики Таджикистан под руководством доктора геолого-минералогических наук Абдрахматова Канатбека Ермековича и при консультационной и методической поддержке кандидата геолого-минералогических наук Ишук Анатолия Ростиславовича. В процессе работ над диссертацией автор получал ценные советы, рекомендации и другую неоценимую помощь от А.М. Бабаева, М.С. Саидова, Ф.Х. Каримова. К. Линдхольма (С. Lindholm) из компании NORSAR, Э. Мамырова (Институт сейсмологии НАН Кыргызской

Республики), которым автор приносит свою искреннюю благодарность. Особую признательность автор выражает научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук К.Е. Абдрахматову за постоянное внимание, содействие и неоценимую помощь в работе.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приводятся актуальность темы, поставленная цель и определены задачи исследования; сформулированы основные защищаемые положения, определены научная новизна исследования, практическая и экономическая значимость полученных результатов.

*В главе 1* приводится обзор существующих представлений о геологических и сейсмических особенностях территории Таджикистана. Дается общая характеристика геологических особенностей территории, вещественный состав горных пород, а также особенности тектоники структурно-формационных зон. Рассматривается сейсмичность территории, анализируются различные геологические критерии сейсмичности, приводятся сведения об истории изучения сейсмической опасности территории Таджикистана. Рассматриваются основные сейсмогенерирующие зоны, выделенные на территории Таджикистана.

Геологические условия территории Таджикистана определяют ее как геодинамически активно развивающуюся область с активным проявлением сейсмических явлений. В тектоническом отношении на территории Таджикистана выделяются три крупные геологические структуры: Южный Тянь-Шань, Таджикская депрессия и Памир. Эти крупные структуры разделяются глубинными разломами: Гиссаро-Кокшаальским между Южным Тянь-Шанем и Таджикской депрессией и Дарваз-Каракульским – между Таджикской депрессией и Памиром. Положение этих крупных разрывных зон, в конечном итоге, определяет пространственное расположение очагов коровых землетрясений.

Поскольку в геологическом плане территория Таджикистана представляет собой зону активного геодинамического процесса, сопровождающегося активным проявлением сейсмических явлений, а также активным преобразованием современного рельефа, то все это накладывает определенные трудности на выявление зон разломов, являющихся активными источниками сейсмических явлений. И если вещественный состав геологических образований изучен достаточно детально, то относительно разрывной тектоники существуют различные мнения у разных исследователей, что было частично изложено в настоящей главе. Особую сложность вызывает определение активности тех или иных разрывных структур с точки зрения величины возможного максимального сейсмического потенциала

(магнитуды землетрясения в зоне влияния этого разлома). Существуют различные трактовки сейсмогенерирующей способности тех или иных разломов на территории Таджикистана. В настоящем исследовании будем придерживаться параметров и положения тех или иных сейсмогенерирующих разломов, которые были установлены при составлении карты сейсмогенерирующих зон территории Таджикистана в 1984г. (Бабаев и др, 1984).

На территории Таджикистана проявляются два типа землетрясений: коровые с глубиной гипоцентра 5 – 45 км, и глубокофокусные Памиро-Гиндукушские землетрясения с глубиной очага 100 – 400 км. И, хотя глубокие землетрясения имеют более высокую активность, наибольшую опасность представляют коровые землетрясения.

Известно только три катастрофических коровых землетрясения на территории Таджикистана с магнитудой  $M_{LN} \geq 7$ , вызвавшие значительные разрушения и жертвы: это Каратагское землетрясение с  $M_{LN} = 7,4$  в 1907 г; Сарезское с магнитудой  $M_{LN} = 7,4$  в 1911 г. и Хаитское с магнитудой  $M_{LN} = 7,4$  в 1949 г. 7 декабря 2015г. произошло еще одно сильное землетрясение в районе Сарезского озера с магнитудой  $M_w = 7,2$ . Однако, крупных обрушений в районе Сарезского озера не обнаружено и сама его плотина не получила каких-либо существенных и опасных деформаций и повреждений.

С точки зрения геологических критериев сейсмичности, на взгляд автора, свидетельства позднечетвертичной геологической истории являются значительно более ценными для оценки сейсмичности и сейсмического риска, чем это представлялось ранее. Основную роль в возникновении сильных землетрясений, например, К.Р. Аллен отводит позднечетвертичным и особенно голоценовым сдвиговым зонам. В последние годы все большая роль придается инструментальным данным (данные GPS измерений, изучение строения зон активных разломов при помощи траншей, использование космических снимков для выявления активных разломов) при определении активности разломов и их способности генерировать сильные землетрясения.

Оценка сейсмической опасности территории Таджикистана имеет давнюю историю и начинается с изучения последствий Каратагского землетрясения в 1907. По принятой ранее в бывшем СССР терминологии, оценка сейсмической опасности выполнялась путем составления карт сейсмического районирования территории с указанием границ зон различной интенсивности в баллах по шкале MSK-64. Нормативной считалась *карта общего сейсмического районирования*, на которой показывались зоны сотрясений от 5 до 9 баллов. Территории с интенсивностью более 9 баллов считались непригодными для застройки.

Впервые сейсмическое районирование территории Средней Азии, в том числе Таджикистана, было проведено в 1933 г. выдающимся русским геологом Д.И. Мушкетовым. Исходными данными служили имевшиеся сейсмостатистические и геологические материалы, поэтому карта была названа «сеймотектонической». Д.И. Мушкетов предпринял попытку связать сейсмические проявления с геологическими условиями территории. В оценках сейсмической опасности не только территории Таджикистана, но и всей Центральной Азии, в разные годы активное участие принимали такие видные ученые как Г.П. Горшков, С.В. Медведев, И.Е. Губин, В.И. Бунз, С.А. Захаров, А.М. Бабаев, К.М. Мирзоев, С.Х. Негматуллаев и другие.

В настоящее время карта сейсмического районирования территории Таджикистана, составленная еще в 1978 г., действует как нормативная карта для проектных и строительных организаций. Основой этой карты явились геолого-геофизические и сейсмологические материалы, обобщенные в виде карты сейсмогенных зон, дифференцированных по вероятной максимальной энергии (магнитуде).

*В главе 2 рассматриваются основные принципы оценки сейсмической опасности, приводится содержание составленной ГИС базы данных, рассматривается способ использования ГИС технологий для составления карт сейсмической опасности как в значениях пиковых ускорений грунта (PGA – peak ground acceleration), так и в единицах интенсивности шкалы MSK-64.*

Первым и самым важным звеном в оценке сейсмической опасности является оценка возможности появления сейсмических воздействий определенной силы на заданной площади в течение заданного интервала времени.

Исследования в этой области базируются на комплексном изучении структуры земной коры, современной геодинамики, сеймотектоники, региональной сейсмичности. Результатом этих исследований является карта сейсмической опасности (или “карта сейсмического районирования” по принятой ранее терминологии).

В 2006 г. в Институте сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ были начаты работы по составлению базы геолого-геофизических данных с использованием современных ГИС технологий. Большую помощь в этой работе оказал международный проект № KR1176, финансируемый МНТЦ (Международный научно-технический центр) и длившийся с 2006 г. по 2009 г. В последние годы (2010 – 2015гг.) в Институте сейсмостойкого строительства и сейсмологии (ныне Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии - ИГССС) Академии наук Республики Таджикистан проведены работы по оценке сейсмической опасности с использованием ГИС технологий (ГИС - географическая информационная



система, GIS - Geographic Information System) на основе имеющихся данных о геологическом строении, активных разломах, сейсмологических данных.

Составленная ГИС база геологических и сейсмических данных включает в себя: каталог землетрясений с магнитудой  $M_s \geq 3$  территории Таджикистана с древнейших времен по 2009г.; макросейсмические данные о сильных землетрясениях ( $I \geq 6$  по шкале MSK-64) с 1892г. по 2002г. в виде шейп-файлов, краткого описания каждого землетрясения, его схемы изосейст; каталог сильных движений и его описание: карта сейсмогенерирующих зон; карта сейсмической опасности (сейсмического районирования) в баллах шкалы MSK-64 - зоны с максимальной интенсивностью 7, 8 и 9 баллов; карта линеаментов и разрывных структур; карта активных разломов и другая информация.

Для расчетов сейсмической опасности использовались только коровые землетрясения, поскольку они являются наиболее опасными для зданий и сооружений. Глубокофокусные землетрясения вызывают сотрясения на обширной территории (практически на территории всей Центральной Азии), но интенсивностью не более 6 баллов по шкале MSK-64. За основу взята карта сейсмогенерирующих зон территории Таджикистана, составленная в 1984г. А.М. Бабаевым с соавторами.

Используемая в настоящее время оценка сейсмической опасности территории Таджикистана, построенная с использованием существовавших 40 лет назад методов оценки сейсмической опасности и показывающая величины колебаний земной поверхности в трех градациях - 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64, уже не отвечает существующим потребностям сейсмостойкого проектирования зданий и сооружений. Все большее место в мировой практике занимает оценка пиковых ускорений грунта при землетрясении, как показателя сейсмического воздействия.

Существует два подхода к оценке сейсмической опасности: детерминистский и вероятностный.

**Детерминистский подход** основан на учете максимального потенциала сейсмического источника, определяемого его геологическими особенностями. При этом, как правило, принимается во внимание один источник и фиксированное расстояние от этого источника до участка, сейсмическое воздействие на котором оценивается.

**Вероятностный подход** оценивает вероятность возникновения расчетного сейсмического воздействия на участке от различных сейсмических источников и такой подход принят в настоящее время в качестве стандартного в мировой практике.

При построении карты сейсмических воздействий для территории Таджикистана были приняты допущения, что сейсмические источники

являются линейными с одинаковой вероятностью возникновения землетрясений заданной максимальной магнитуды в каждой точке этого линейного источника (активного сейсмогенерирующего разлома или осевой линии зоны ВОЗ при ее сложном строении).

Было выполнено вычисление распределения значений ускорений в величинах пиковых ускорений грунта PGA (Peak Ground Acceleration) для горизонтальной составляющей в функции магнитуды сейсмического источника, расстояния от него и уравнения затухания сейсмических колебаний. Для этого использовалось программное обеспечение ArcGIS Desktop с модулем Spatial Analyst.

Анализ нескольких эмпирических зависимостей затухания колебаний земной поверхности при землетрясениях, полученных в последние годы, позволил сделать допущение, что наибольшее соответствие условиям Таджикистана имеет формула затухания, предложенная Аккаром и Буммером (Akkar and Bommer) в 2007г для вычисления пиковых ускорений грунта для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний:

$$\log_{10}[PGA] = 4.185 - 0.112M + (-2.963 + 0.29M)\log_{10}\sqrt{R_{jb}^2 + 7.593^2} + 0.099S_s + 0.02S_A - 0.034F_N + 0.104F_R \quad (1),$$

где PGA – горизонтальная составляющая сейсмических ускорений в см/сек<sup>2</sup>,  $M$  –моментная магнитуда,  $R_{jb}$  – ближайшее расстояние от проекции плоскости разрыва на поверхность,  $S$  – коэффициент, учитывающий тип грунта ( $S_s$  и  $S_A$  приняты равными 0) и  $F$  – коэффициент, учитывающий тип разлома -  $F_N = 0$  для сбросов и  $F_R = 1$  для взбросов (принято  $F_N = 0$  и  $F_R = 1$ )

При помощи программы ArcGIS Spatial Analyst рассчитывалось распределение по площади значений пиковых ускорений грунта в зависимости от магнитуды и расстояния от линейного сейсмического источника по формуле (1), т.е. вычислялась матрица значений пиковых ускорений грунта для ячеек с задаваемыми размерами. При помощи этой же программы строилась карта распределения ускорений по площади.

Результаты вычислений сейсмических воздействий представлены на рис. 1 в виде карты оценки сейсмической опасности в значениях пиковых ускорений грунта (PGA) в см/сек<sup>2</sup>. Важно, что карта отражает вклад каждой из зон активных разломов в вычисляемое значение PGA в каждой ячейке, т.е. представлен интегральный результат, когда учитывается расстояние расчетной ячейки от всех, принимаемых во внимание сейсмогенерирующих разломов и сохраняется максимальное значение. Следует отметить, что это максимально возможные значения пиковых ускорений грунта (горизонтальная составляющая), соответствующие понятию MCE (Maximum Considered

Earthquake - максимального рассматриваемого землетрясения) без учета локальных грунтовых условий.

Поскольку в практике строительства на территории Таджикистана для расчета сейсмического воздействия используются значения интенсивности в баллах, была таким же образом построена карта сейсмической опасности в баллах интенсивности по шкале MSK-64.

Для построения карты сейсмической опасности в баллах интенсивности использовалось эмпирическое уравнение, предложенное Д. Бинди (Dino Bindi) с соавторами в 2011г. и основанное на анализе макросейсмических данных по Центральной Азии:

$$I = a_1 M + a_2 - a_3 \log_{10} \left( \sqrt{\frac{Repi^2 + h^2}{h^2}} \right) - a_4 (\sqrt{Repi^2 + h^2} - h) \quad (2),$$

где  $I$  – интенсивность сотрясений в баллах шкалы MSK-64,  $M$  – локальная магнитуда,  $Repi$  – эпицентрально расстояние в км,  $h$  – глубина очага в км,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  и  $a_4$  – эмпирические коэффициенты.

При использовании этого уравнения расчета интенсивности сотрясений значения глубины очага  $h$  принимались 15 км для магнитуд  $6,5 \leq M \leq 8$  и 10 км для  $5 \leq M \leq 6$ . Результаты представлены на рис. 2.

Полученные карты оценки сейсмической опасности территории Таджикистана в единицах пиковых ускорений грунта и в баллах интенсивности по шкале MSK-64 являются более точными по сравнению с действующей картой оценки сейсмической опасности в значениях баллов по шкале MSK-64, поскольку по ним можно определить значение ускорения или интенсивности в любом задаваемом квадрате на территории Таджикистана, что позволит более обоснованно проводить расчет зданий и сооружений на сейсмическое воздействие, а также позволит оценить потенциальную устойчивость горных склонов при сильных землетрясениях.

Используя предложенный способ, значения PGA или интенсивности сотрясений можно вычислить для ячеек различного размера (500м x 500м; 1км x 1км; 2км x 2км и т.д.), т.е. в программе ArcGIS Desktop по такой карте можно определить значения PGA в любой точке оцениваемой территории. Данная методика позволяет построить карту распределения PGA от сейсмогенерирующего разлома для различных расстояний и с любым шагом. Также возможно вычислить распределение затуханий сейсмических колебаний от единичного эпицентра землетрясения известной магнитуды или от группы эпицентров. Возможно и использование различных уравнений затухания сейсмических колебаний.

Следует также отметить, что данная оценка основана на детерминистском подходе и не учитывает вероятность возникновения расчетного воздействия.

В главе 3 представлены результаты оценки сейсмической опасности каскада ГЭС на р. Вахш, который является наиболее важным и ответственным объектом для устойчивого развития Таджикистана (рис. 3). Он включает самую высокую каменно-набросную плотину в мире – плотину Нурекской ГЭС высотой 300 м. Планируется завершение строительства Рогунской ГЭС в верхней части бассейна р. Вахш с высотой плотины 335 м.

Сейсмическое воздействие в районе каскада ГЭС на р. Вахш оценивалось с использованием современных методик и техник, основываясь на тех же базовых геолого-сейсмологических данных, которые послужили основой карты общего сейсмического районирования территории Таджикистана издания 1978 г., т.е. принималось то же расположение зон активных разломов, как источников землетрясений (так называемых зон ВОЗ) и та же, оцененная ранее, максимально возможная магнитуда землетрясений в этих зонах.

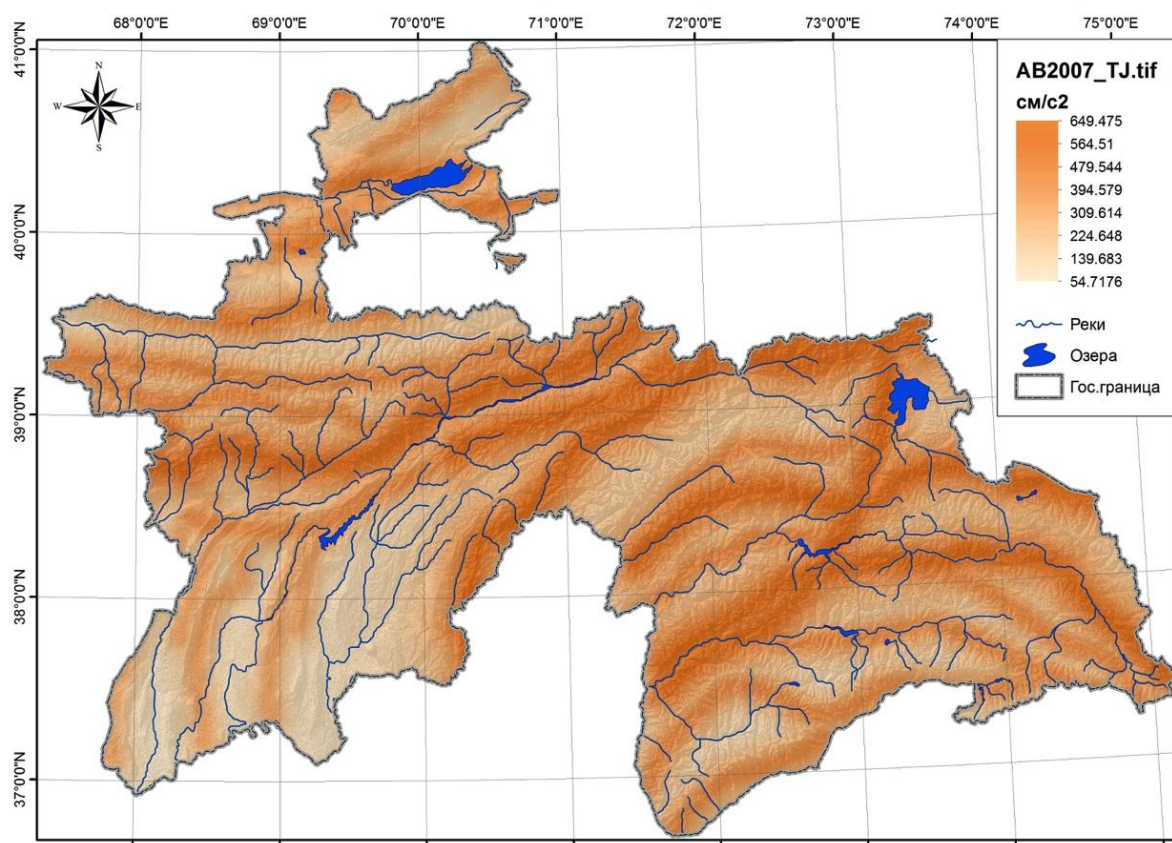


Рис. 1. Карта сейсмической опасности территории Таджикистана в значениях PGA.



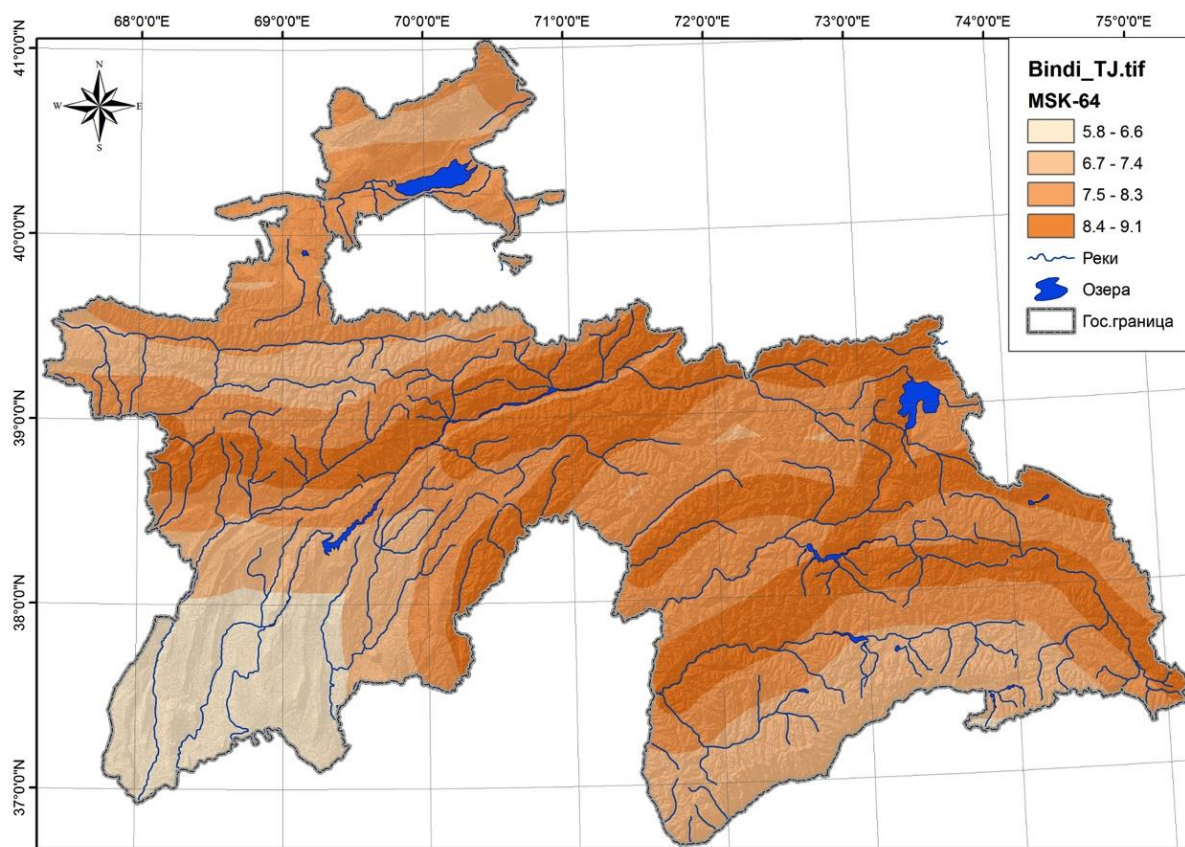


Рис. 2. Карта сейсмической опасности территории Таджикистана в баллах шкалы MSK-64.

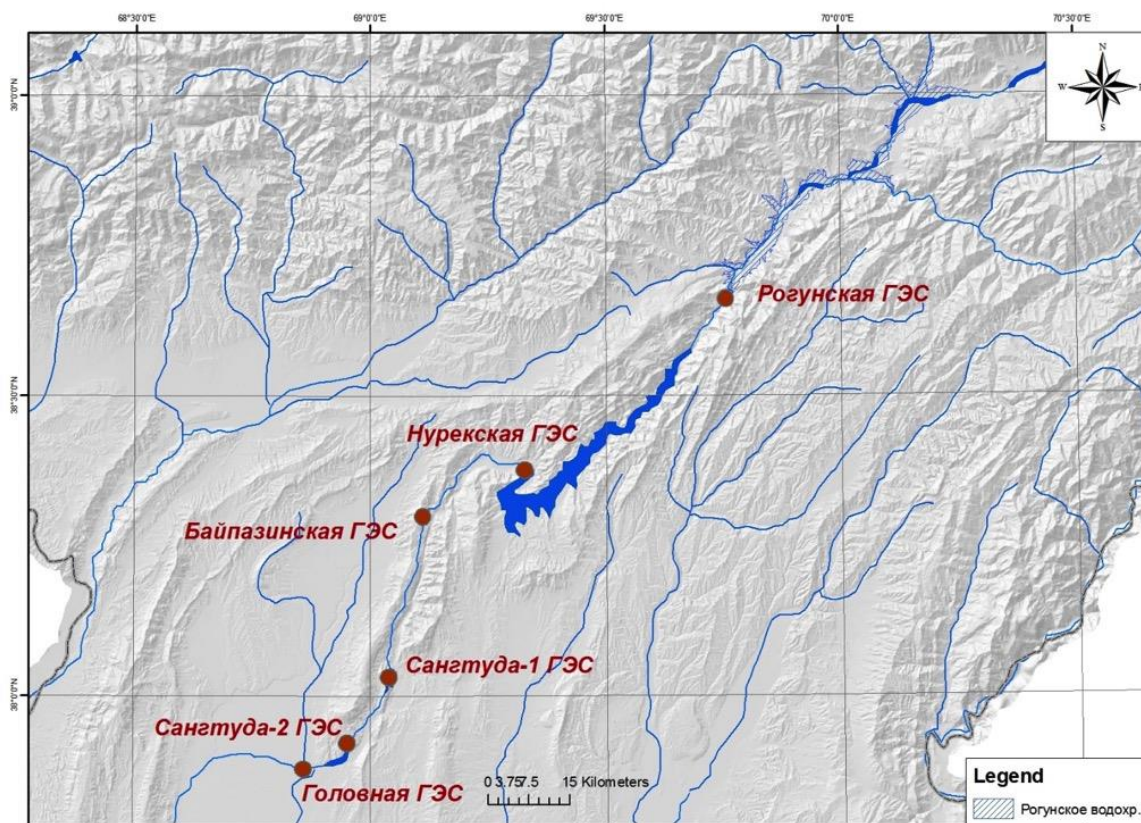


Рис. 3. Схема расположения каскада ГЭС на р. Вахш.

Выполнялись два вида оценок: **детерминистская** и **вероятностная**. При детерминистской оценке использовалась методика оценки сейсмической опасности с использованием ГИС технологий. При расчете карты сейсмической опасности, принимались во внимание рекомендации Агенства по атомной энергии Японии (Nuclear Waste Management Organization of Japan - NUMO), т.е. в расчет принимались только те участки сейсмически активных зон, которые попадали в выделенную область радиусом 160 км с центром в месте расположения плотины Рогунской ГЭС, как самой высокой в каскаде. При этом все ГЭС Вахшского каскада попадали в эту область. Использовались несколько уравнений затухания:

- 1) модифицированное уравнение Пенга (Peng)
- 2) уравнение, полученное Н. Амбрасейсом (N. Ambraseys et al. 2005) с соавторами 2005г.
- 3) уравнение, полученное Аккаром и Буммером в 2007г. (Akkar and Bommer 2007).

Построены карты сейсмических воздействий в единицах PGA от одних и тех же сейсмических источников (активных разломов), но для каждой формулы расчета затуханий получены свои максимальные и минимальные значения PGA.

В качестве примера, на рис. 4 приведена карта распределения пиковых ускорений грунта, построенная с использованием уравнения затухания Аккара и Буммера 2007г.

Таким же образом были выполнены и расчеты распределения интенсивности в баллах шкалы MSK-64 с использованием уравнений, приведенных в таблице 1. В качестве примера на рис. 5 приведена карта, составленная с использованием уравнения затухания А.А. Конькова.

Таблица 1. - Значения интенсивности сотрясений в баллах шкалы MSK-64 для участка расположения основных сооружений Рогунской ГЭС

Уравнение затухания интенсивности	Величина интенсивности в баллах MSK-64
А.А. Коньков, 1975	8,8
Гидропроект, 2009	8,0
Д. Бинди, 2011	7,9

Вероятностная оценка сейсмической опасности района расположения каскада ГЭС выполнялась в соответствии с требованиями Комиссии по большим плотинам (ICOLD).

Была выбрана область для анализа с радиусом 300 км от участка расположения плотины Рогунской ГЭС.

Анализ сейсмичности выполнялся с использованием следующих каталогов:

1. Каталог CASRI (каталог землетрясений Центральной Азии с древнейших времен по 2009 г. с магнитудой  $M_s \geq 2,8$ ).
2. Каталог землетрясений ISC с 1906 по 2012 гг. с магнитудой  $M_w \geq 2,2$  ([www.isc.com](http://www.isc.com)) .
3. Каталог землетрясений PDE с 1973 по 2012 гг. с магнитудой  $m_b \geq 3,2$ .

Все расчеты проводились в специализированной программе CRISIS2007.

В соответствии с рекомендациями международного проекта GEM (Global Earthquake Modeling) для расчетов псевдоспектральных ускорений (PGA и спектральные ускорения) использовалось уравнение Аккара и Буммера 2010 г. (Akkar S. and Bommer J.).

Поскольку, в соответствии с тектоническими условиями изучаемой территории, практически все сейсмогенерирующие разломы относятся к взбросам (Бабаев и др., 1984), для расчетов было использовано уравнение затухания Аккара и Буммера 2010 г. с эмпирическими коэффициентами для взбросов.

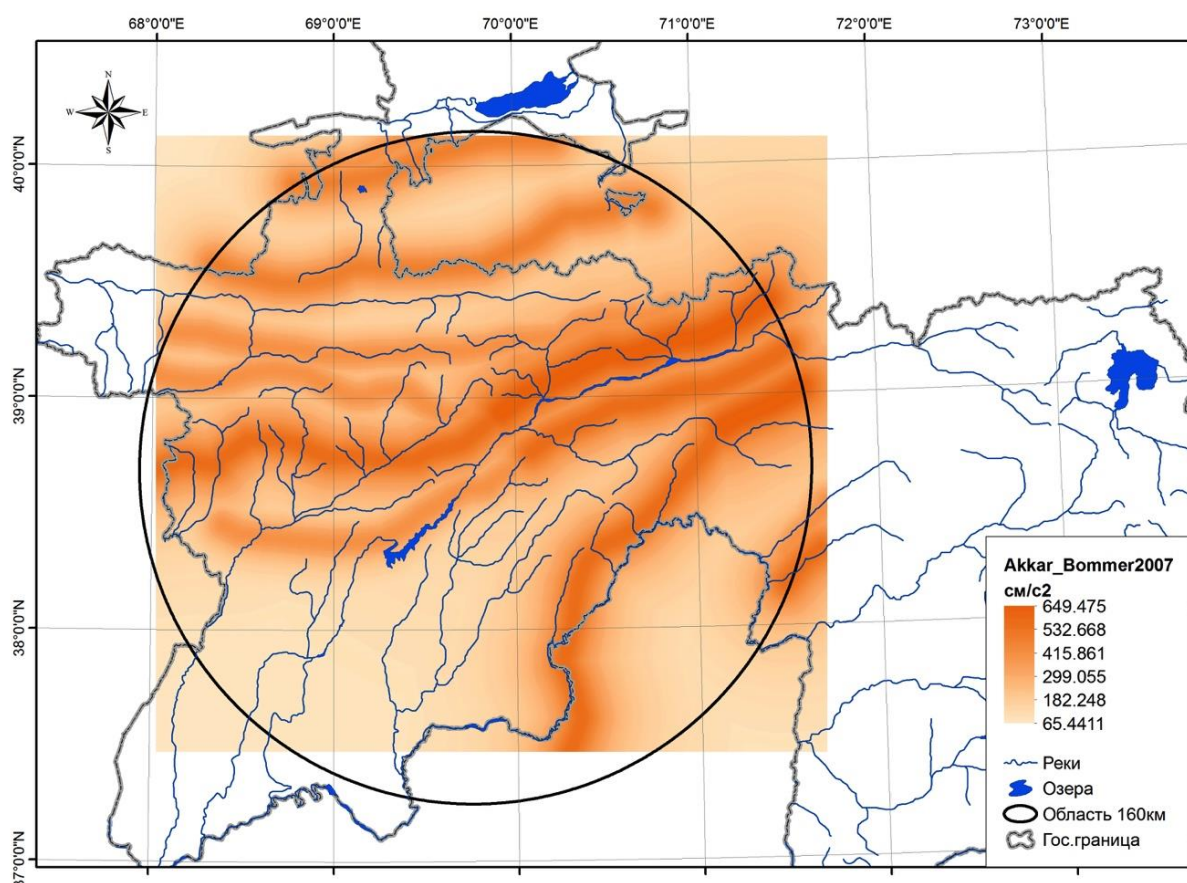
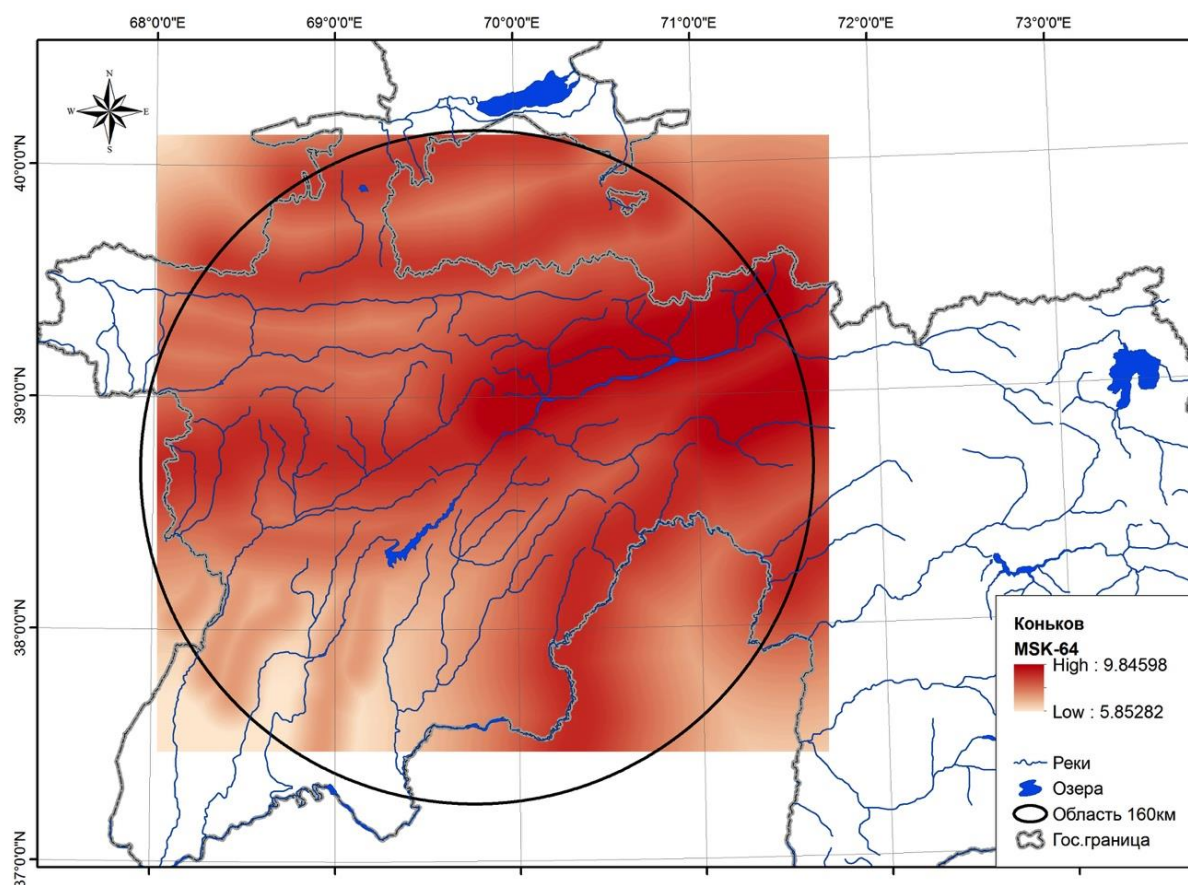


Рис. 4. Распределение пиковых ускорений грунта (PGA), полученное по уравнению Аккара и Буммера 2007г





*Рис. 5. Интенсивность сотрясений в баллах MSK-64 по уравнению А.А. Конькова.*

Были выбраны следующие периоды повторяемости землетрясений:

- 1 раз в 145 лет (соответствует значению OBE 50% вероятность превышения в течение 100 лет);
- 1 раз в 950 лет ( MDE – 10% вероятность превышения в течение 100 лет-стандарт Франции);
- 1 раз в 200 лет (OBE, вероятность превышения 40% в течение 100 лет – стандарт Франции);
- 1 раз в 475 лет (стандартное значение – 10% вероятность превышения в течение 50 лет);
- 1 раз в 5000 лет (MDE – 2% вероятность превышения в течение 100 лет).

В соответствии с требованиями ICOLD для анализа были выбраны две модели сейсмических источников:

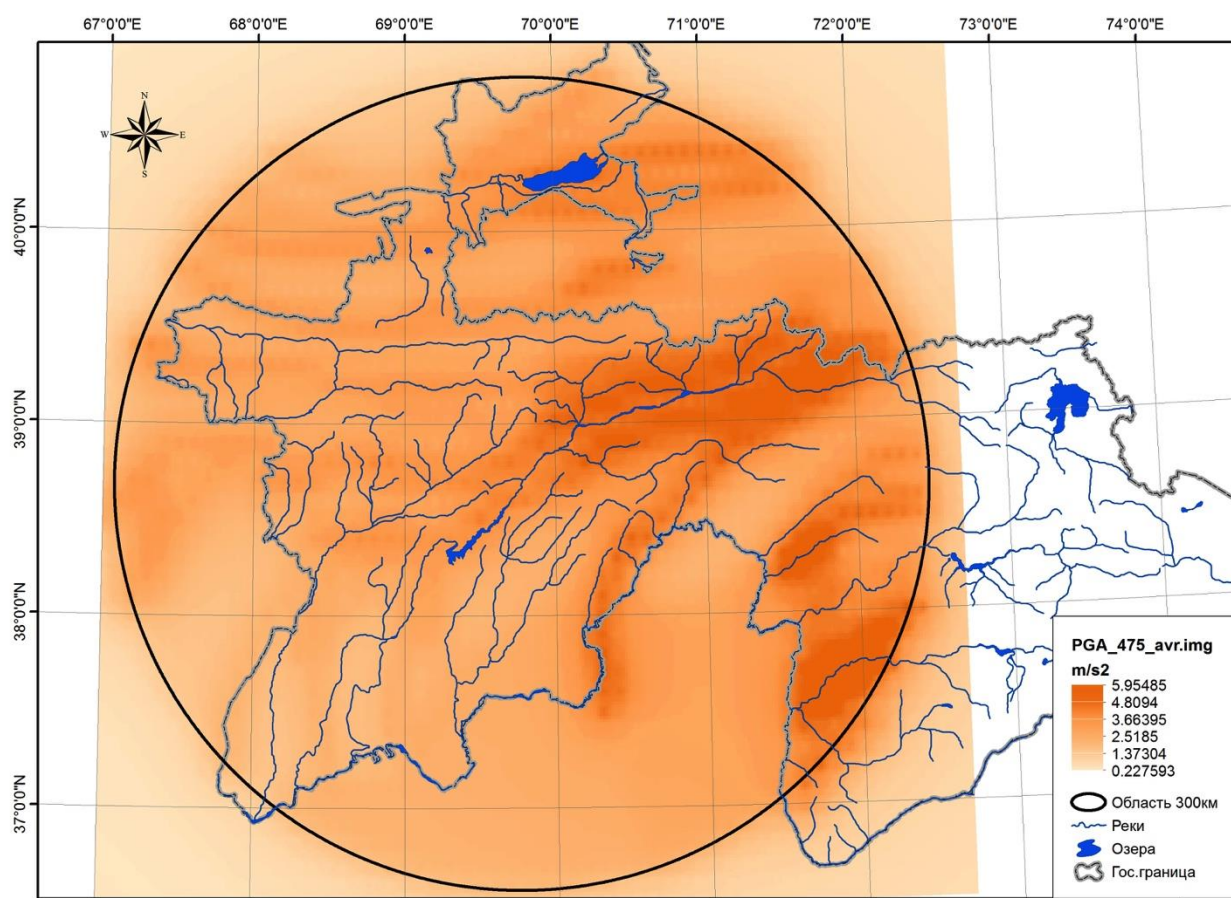
- **Источники землетрясений в виде зон**, т.е. зоны выбирались в соответствии с распределением эпицентров землетрясений;
- **Линейная модель**, т.е. осевые линии зон активных разломов с заданной  $M_{\max}$  принимались за источники землетрясений.



На всю эту территорию получен набор карт распределения PGA, спектральных ускорений (SA) 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5 и 2 сек. для указанных выше периодов повторяемости. Таким образом, набор карт состоит из 30 карт сейсмических воздействий для района, радиусом 300 км от участка расположения Рогунской ГЭС.

В качестве результирующих параметров приняты средние значения, полученные на основе двух описанных выше моделей из расчета 50% вклада каждой из них.

В качестве примера представлена карта распределения значений PGA для периода повторяемости 1 раз в 475 лет (рис. 6).



*Рис. 6. Распределение значений PGA для периода повторяемости  
1 раз в 475 лет  
(10% вероятность превышения расчетных значений в течение 50 лет).*

## Выводы

Оценка сейсмической опасности территории Таджикистана последний раз выполнялась в 1978 г., а новая карта зон ВОЗ, которая является основой для составления карты общего сейсмического районирования была составлена в 1984 г. и обновлена в 1990 г. Но новая карта оценки сейсмической опасности на ее основе так и не была создана.

Основным результатом настоящей работы является оценка сейсмической опасности территории Таджикистана с использованием современных ГИС технологий и современных требований к оценке сейсмической опасности, но с учетом исходных данных, лежащих в основе действующей карты сейсмической опасности территории Таджикистана.

Создана ГИС база данных для выполнения работ по оценке сейсмической опасности на территории Таджикистана с учетом современных требований, и эта база данных может пополняться новыми данными для уточнения оценки сейсмической опасности по мере накопления новых данных, позволяющих это делать (новые модели сейсмотектонического процесса, новые уравнения расчетов затухания интенсивности сейсмических колебаний и пр.). Особенность указанной базы данных в том, что она позволяет представить имеющиеся в ней данные в виде карт, схем, таблиц в любом, необходимом для анализа, виде и масштабе.

На основе этой базы данных с использованием ГИС технологий и современных методов оценки сейсмической опасности построены новые карты сейсмической опасности территории Таджикистана (карты оценки сейсмических воздействий) как в принятых в международной практике значениях пиковых ускорений грунта (PGA), так и в значениях интенсивности в баллах шкалы MSK-64.

Впервые для территории Таджикистана для расчета распределения ускорений по площади использованы математические возможности ГИС технологий, что позволило значительно уточнить карту сейсмической опасности в баллах шкалы MSK-64, по сравнению с существующей нормативной картой.

Также впервые выполнена вероятностная оценка сейсмической опасности для района расположения каскада ГЭС на р. Вахш в соответствии с требованиями Международной комиссии по большим плотинам (ICOLD). Построен набор карт сейсмических воздействий, показывающих распределение спектральных ускорений для различных периодов повторяемости на территории расположения каскада ГЭС. Используя созданные расчетные модели, можно получать спектры реакции для заданных периодов повторяемости в каждой ячейке исследуемой области, размером 500м x 500м.

### Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Ильясова З.Г. Новая карта сейсмического районирования территории Таджикистана. [Текст] / А.Р. Ишук, З.Г. Ильясова. - В сб. Материалы научной конференции к 20-летию Государственной независимости Республики Таджикистан и 60-летию образования Академии Наук Республики Таджикистан. «Дониш», Душанбе, 2011. - С. 107-115.
2. Ильясова З.Г. Новая карта сейсмического районирования территории Таджикистана. [Текст] / А.Р. Ишук, З.Г. Ильясова. - Актуальные проблемы геологии и сейсмологии Таджикистан. «Дониш», Душанбе. 2011. - С. 107-115.
3. Ильясова З.Г. Сейсмичность и сейсмическая опасность района строительства Рогунской ГЭС. [Текст] / А.Р. Ишук, З.Г. Ильясова. - В сб. Современные вопросы геодинамики и минерагении Памиро-Тянь-Шаня. Тр. Респ. Научной конференции. «Дониш», Душанбе, 2012. - С. 171-179.
4. Ильясова З.Г. Оценка сейсмической опасности каскада ГЭС на р. Вахш. [Текст] / А.Р. Ишук, З.Г. Ильясова. - В сб. Материалы Межд. конференции «Безопасность гидротехнических сооружений в сейсмически опасных районах», Душанбе, 29-30 ноября 2013. - С. 16-20.
5. Ильясова З.Г. Вероятностная оценка сейсмического воздействия на район Нурекской ГЭС. [Текст] / Х.Ш. Абдурауфов, А.Р. Ишук, З.Г. Ильясова. - В сб. Материалы Межд. конференции «Безопасность гидротехнических сооружений в сейсмически опасных районах», Душанбе, 29-30 ноября 2013. - С. 21-31.
6. Ilyasova Z.G. Kinematics of the Pamir and Hindu Kush regions from GPS geodesy. [Text] / P. Molnar, A. Rybin, A.R. Ischuk, Z.G. Ilyasova. - Journal of Geophysical Research Solid Earth. Vol. 118/ 2013. - P. 1-9.
7. Ильясова З.Г. Сейсмическая опасность и прогноз возникновения оползней при землетрясениях для горных районов в Таджикистане. [Текст] / А.Р. Ишук, Н. Р. Ишук, А.В. Шварц, З.Г. Ильясова. - ОАО «Чопхонаи Дониш». Душанбе, 2013. 96с.
8. Ilyasova Z.G. Геологические критерии сейсмичности территории Таджикистана. [Text] / A.R. Ischuk, Z.G. Ilyasova. - Proceeding of International Conference «Remote- and Ground-based Earth Observations in Central Asia». Bishkek, Kyrgyzstan, September 8-9. 2014. - P. 156-162.
9. Ilyasova Z.G. Seismic and Landslide Hazard in Jirgatal Area, Tajikistan. [Text] / A.R. Ischuk, M. Saidov, Z.G. Ilyasova. - Framework of an integrated Space-based and in-situ sENSing for dynamic vulnerability and recover Monitoring Proceedings of the International Symposium. Kyrgyz Republic, Bishkek city, 29-30 January 2014. «Maxprint», 2014. - P. 32-36.
10. Ильясова З.Г. Связь сейсмичности с геологическими особенностями

территории Таджикистана. [Текст] / З.Г. Ильясова. - Научный и информационный журнал Материаловедение. //№4/2014(7). Бишкек. С. 19-27.

11. Ильясова З.Г. Оценка сейсмических воздействий на территории Памира с использованием программы «CRISIS2007». [Текст] / З.Г. Ильясова. - Интернет-журнал ВАК. Кыргызская Республика.
12. Ильясова З.Г. Оценка сейсмических воздействий в районе расположения каскада ГЭС на р. Вахш в Таджикистане. [Текст] / З.Г. Ильясова. - Интернет-журнал ВАК. Кыргызская Республика.
13. Ильясова З.Г. Вероятностная оценка сейсмической опасности района каскада ГЭС на Вахш. [Текст] / З.Г. Ильясова. - Вестник Таджикского национального университета."Сино". Душанбе. 2014. С.262-269.
14. Ильясова З.Г. Вероятностная оценка сейсмической опасности территории Памира. [Текст] / З.Г. Ильясова. - Вестник Таджикского национального университета."Сино". Душанбе. 2015. С. 289-294.
15. Ильясова З.Г. Использование программы CRISIS2007 для вероятностной оценки сейсмической опасности района каскада ГЭС на р. Вахш. [Текст] / З.Г. Ильясова. - Журнал «Наука и инновация» (ISSN 2312-3648), Таджикский национальный университет. Душанбе. 2016. С.161-167.
16. Ильясова З.Г. Вероятность проявления оползней при сильных землетрясениях на основе оценки сейсмических воздействий. [Текст] / З.Г. Ильясова. - Журнал «Наука и инновация» (ISSN 2312-3648), Таджикский национальный университет. Душанбе. 2016. С.183-187

## РЕЗЮМЕ

по диссертации **Ильясовой Зухры Гуловны** «Геологические условия и оценка сейсмической опасности территории Таджикистана»

На соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** геология, активный разлом, сейсмогенерирующая зона, сейсмология, землетрясение, сейсмическая опасность.

**Объектом исследования** являются геологические условия территории Таджикистана и их связь с сейсмической активностью и уровнем сейсмической опасности.

**Цель исследования.** Оценка сейсмической опасности территории Таджикистана на основе анализа геологических и сейсмических условий с использованием современных методов и ГИС технологий. Составление новой карты сейсмической опасности территории Таджикистана в соответствии с современными международными требованиями на базе существующей карты сейсмогенерирующих зон.

**Методы исследования:** На основе анализа геологических и сейсмологических данных, карты сейсмогенерирующих зон территории Таджикистана и с использованием современных компьютерных методов расчетов и ГИС технологий, а также современных уравнений затухания сейсмических колебаний, выполнен расчет сейсмических воздействий для составления карт сейсмической опасности.

**Полученные результаты и новизна:** Впервые проведена оценка сейсмической опасности территории Таджикистана с использованием ГИС технологий и современных методов расчета сейсмических воздействий на основе современных уравнений затухания сейсмических колебаний как в единицах пиковых ускорений грунта, так и в интенсивности сотрясений в баллах шкалы MSK-64. Впервые выполнена вероятностная оценка сейсмической опасности района расположения каскада ГЭС на р. Вахш в соответствии с требованиями Международной комиссии по большим плотинам (ICOLD).

**Степень использования:** Полученные результаты использованы для построения карты вероятности возникновения оползней при сильных землетрясениях на территории Таджикистана (монография «Сейсмическая опасность и прогноз возникновения оползней при землетрясениях для горных районов в Таджикистане» (2013г.)), при оценке сейсмической опасности участка строительства Рогунской ГЭС в рамках ТЭО, проводимого под эгидой Всемирного Банка (2012-2014гг.), а также при выполнении НИР «Оценка устойчивости склонов при сильных землетрясениях в связи с безопасностью каскада ГЭС на р. Вахш» в 2010-2015 гг.

**Рекомендации:** Результаты работы рекомендованы для использования в НИР Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ на 2016-2020гг. при составлении вероятностной карты оценки сейсмической опасности всей территории Таджикистана.

**Область применения:** Оценка сейсмического риска для территории Таджикистана с учетом новых данных о распределении расчетных значений пиковых ускорений грунта и интенсивности сотрясений, также как и оценка вероятности возникновения оползней при сильных землетрясениях.

25.00.10 – Геофизика, пайдалуу кендерди издөөнүн геофизикалык методдору адистиги боюнча геология-минералогия илимдеринин кандидаты окумуштуу даражасын изденүүгө карата жазылган **Ильясова Зухра Гуловнанын** «Тажикстандын аймагынын геологиялык шарттары жана сейсмикалык коркунучуна баа берүү» диссертациясынын

### РЕЗЮМЕСИ

**Негизги сөздөр:** геология, активдүү жараңка, сейсмогенерациялоочу зона, сейсмология, жер титирөө, сейсмикалык коркунуч.

**Изилдөөнүн объекти болуп** Тажикстандын аймагынын геологиялык шарттары жана алардын сейсмикалык активдүүлүгү жана сейсмикалык коркунуч деңгээли менен байланышы эсептелет.

**Изилдөөнүн максаты.** Тажикстандын аймагынын сейсмикалык коркунучуна заманбап методдорду жана ГМТ технологияларды колдонуу менен геологиялык жана сейсмикалык шарттарды талдоого алуунун негизинде баа берүү. Тажикстандын аймагынын сейсмикалык коркунучунун жаңы картасын сейсмогенерациялануучу зоналардын колдо бар карталарынын базасында заманбап эл аралык талаптарга ылайык келтирип түзүү.

**Изилдөөнүн методдору:** Геологиялык жана сейсмологиялык маалыматтарды талдоого алуунун, Тажикстандын аймагынын сейсмогенерациялануу зоналарынын карталарынын негизинде жана эсептөөлөрдүн заманбап компьютердик методдорун жана ГМТ технологияларды пайдалануу менен, ошондой эле сейсмикалык олку-солкулуктардын өчүүсүнүн заманбап теңдештиктерин колдонуу менен сейсмикалык коркунучтун карталарын түзүү үчүн сейсмикалык таасирлерди эсептеп чыгуу аткарылган.

**Алынган жыйынтыктар жана жаңычылдыгы:** Алгачкы жолу топурактын эң жогорку ылдамдоолорунун бирдиктеринде сыяктуу эле, MSK-64 шкаласынын баллдарындагы титирөөлөр интенсивдүүлүгүндө дагы сейсмикалык олку-солкулуктардын өчүүсүнүн заманбап теңдештиктеринин негизинде ГМТ технологияларды жана сейсмикалык таасирлерди эсептөөнүн заманбап методдорун пайдалануу менен Тажикстандын аймагынын сейсмикалык коркунучуна баа берүү жүргүзүлгөн. Алгачкы жолу Вахш д. ГЭС каскадынын жайгашуу районунун сейсмикалык коркунучуна мүмкүн болгон баа берүү Ири плотиналар боюнча эл аралык комиссиянын (ICOLD) талаптарына ылайык аткарылган.

**Колдонуу даражасы:** Алынган жыйынтыктар Тажикстандын аймагындагы күчтүү жер титирөөлөр учурундагы жер көчкүлөрүнүн пайда болуу мүмкүндүгүнүн картасын түзүү үчүн («Сейсмикалык коркунуч жана Тажикстандагы тоолуу райондор үчүн жер титирөөлөр учурундагы жер көчкүлөрүнүн пайда болушун божомолдоо» монографиясы (2013-ж.)), Бүткүл дүйнөлүк банктын эгидасы алдында өткөрүлүп жаткан ТЭОнун алкактарында Рогун ГЭСин куруу тилкесинин сейсмикалык коркунучуна баа берүү учурунда (2012-2014-жж.), ошондой эле 2010-2015-ж. «Вахш д. ГЭС каскадынын коопсуздугуна байланыштуу күчтүү жер титирөөлөр учурундагы тоо этектеринин туруктуулугуна баа берүү» ИИИни аткаруу учурунда колдонулушкан.

**Сунуштоолор:** Иштин жыйынтыктары 2016-2020-жж. карата Тажикстандын бүткүл аймагынын сейсмикалык коркунучуна баа берүүнүн мүмкүн болгон картасын түзүү учурунда ТР ИАнын Геология, сейсмотуруктуу курулуш жана сейсмология институтунун ИИИсинде колдонуу үчүн сунушталышкан.

**Колдонуу тармагы:** Тажикстандын аймагы үчүн топурактын эң жогорку ылдамдоолорунун эсептөө маанилерин жана титирөөлөрдүн интенсивдүүлүгүн бөлүштүрүү, ошондой эле күчтүү жер титирөөлөр учурундагы жер көчкүлөрдүн пайда болуу мүмкүндүгүнө баа берүү жөнүндө жаңы маалыматтарды эске алуу менен сейсмикалык тобокелдикке баа берүү.

## Summary

To thesis work on the theme: “Geological conditions and seismic hazard assessment of the territory of Tajikistan” by **Zukhra Gulovna Ilyasova** in candidacy for an academic degree of a candidate of geological and mineralogical sciences in the major of 25.00.10 – Geophysics, geophysical methods of the mineral resources survey.

**Key words:** geology, active fault, seismic zone, seismology, earthquake, seismic hazard.

**Object of the research:** Influence the geological conditions of the territory Tajikistan to the features of seismic hazard.

**Main task of the research:** Seismic hazard assessment of the territory of Tajikistan based on the analysis of geological and seismic conditions with using modern methods and GIS technologies. Creation of the new map of seismic hazard of territory of Tajikistan in accordance with modern international requirements on the basis of the existing map of the seismogenic zones.

**Methods of the research:** Analysis of the known sources of earthquakes using GIS technologies, the calculations of seismic effects from these sources using GIS, modern special programs (CRISIS2007) and ground motion prediction equations (GMPEs).

**Obtained results and their novelty:** The new assessment of seismic hazard of the territory of Tajikistan using GIS technologies and modern methods of calculation of seismic effects was based on the modern equations of attenuation in units of peak ground accelerations and the intensity of the shock in units of the MSK-64 scale. It is significantly clarified the existing seismic hazard map. Probabilistic seismic hazard assessment of the area of cascade hydropower station on the Vakhsh river was made in the first in accordance with the requirements of the International Commission on Large Dams (ICOLD).

**Degree of application:** The obtained results were used for the assessing the seismic hazard of the construction area of Rogun HPP on the Vakhsh river in the frame of the World Bank feasibility study project, and are used for implementation of national scientific-research project "Creation of new map of seismic hazard of territory of Tajikistan" during 2016-2020.

**Recommendations:** GIS database of geological and seismological data will allow to perform works for more detailed estimation of seismic hazard for the territory of Tajikistan in the future. The obtained results can be taken as the basis for making a set of maps of probabilistic seismic hazard assessment of the territory of Tajikistan as a seismic building code.

**Sphere of application:** Evaluation the vulnerability of buildings and structures on the territory of Tajikistan during strong earthquakes as well as the assessment of the probability of occurrence of landslides under seismic impact in mountainous areas.

Подписано в печать 20.11.2017 г.  
Формат 60х84 1/16. Объем 1,5 п.л.  
Бумага офсет. Печать офсет. Тираж 150 экз.

ЧП «Сарыбаев Т.Т.»  
г. Бишкек, ул. Раззакова, 49  
т. 0 708 058 368

e-mail: talant550@gmail.com