

Отзыв официального оппонента

на диссертацию МОРОЗОВА Алексея Николаевича

«Сейсмичность западного сектора Российской Арктики и прилегающих территорий за инструментальный период наблюдений» по специальности 1.6.9. «Геофизика» на соискание ученой степени доктора технических наук

Диссертационная работа Морозова А.Н. посвящена решению фундаментальной задачи сейсмологии – получению достоверных сведений о параметрах произошедших землетрясений. Для этого соискателем предложена совокупность решений, направленная на повышение достоверности определения основных параметров землетрясений первой половины XX в. и современных землетрясений западного сектора Российской Арктики. На основе данной совокупности были обобщены сведения и пересчитаны основные параметры (гипоцентр, магнитуда) землетрясений, произошедших в Арктике в начале XX в., и в западном секторе Российской Арктики за весь инструментальный период наблюдений. Это позволило соискателю создать уточнённый каталог землетрясений Арктики за период с 1904 по 1920 г. и новый уточнённый и унифицированный каталог землетрясений западного сектора Российской Арктики за период с 1908 по 2020 г. Также на основе применения разработанной совокупности решений впервые по данным многолетних стационарных сейсмических наблюдений были выявлены пространственно-временные закономерности проявления современной слабой сейсмичности и роевых последовательностей землетрясений в пределах срединно-океанического хребта Гаккеля, характеризующие особенности проявления вулкано-тектонических процессов.

1. Актуальность исследований

Для Арктического региона существует проблема с достоверностью основных параметров зарегистрированных землетрясений. В течение всего инструментального периода обширные территории Арктики были крайне неравномерно и слабо охвачены стационарными сейсмическими наблюдениями. Вычисление основных параметров землетрясений проходило в условиях малого количества станций и их удалённости от очагов, с неполным набором инструментальных данных, с применением устаревших в настоящее время скоростных моделей и алгоритмов локации. Землетрясения оценивались магнитудами разных типов, вычисленными в разных международных и региональных сейсмологических центрах.

Современные сейсмические станции принадлежат разным международным и региональным сейсмическим сетям. Поэтому, вычисленные в разных сейсмологических центрах основные параметры современных арктических землетрясений отличаются, т.к.

основаны, чаще всего, на анализе данных лишь станций конкретной сети, собственных скоростных моделях и шкалах локальных магнитуд, а также вычислены с применением разных алгоритмов локации.

В настоящее время четко вырисовываются перспективы интенсивного освоения в ближайшем будущем крупных месторождений нефти и газа на шельфе арктических морей. В частности, в западном секторе Российской Арктики на основе геолого-геофизических исследований открыты такие крупные нефтегазовые месторождения как Штокмановское, Ледовое, Лудловское, Приразломное на Баренцевом шельфе и Русановское, Ленинградское на Карском шельфе. В настоящее время уже функционирует морская ледостойкая стационарная платформа «Приразломная» – платформа, предназначенная для разработки Приразломного месторождения в Печорском море. При этом мировой опыт показывает, что недостаточный учет геодинамических факторов, к которым относится и сейсмический режим, при разработке и эксплуатации оффшорных месторождений приводит к неоправданно большим экономическим потерям и экологическим последствиям.

Поэтому особенности развития инструментальных наблюдений, необходимость оценки потенциальных природно-техногенных рисков и обеспечения безопасной эксплуатации промышленных систем и объектов при освоении крупных месторождений в западном секторе Российской Арктики накладывают необходимость в проведении исследований по обобщению и уточнению основных параметров (гипоцентр, магнитуда) землетрясений, зарегистрированных за весь период инструментальных наблюдений.

В связи с вышеизложенным диссертация Морозова А.Н. «Сейсмичность западного сектора Российской Арктики и прилегающих территорий за инструментальный период наблюдений» несомненно является актуальной.

2. Цель и задачи исследований

Целью диссертационной работы является разработка совокупности решений, направленной на повышение достоверности определения основных параметров землетрясений (гипоцентр, магнитуда) в западном секторе Российской Арктики и проведение на её основе исследований по созданию уточнённых и унифицированных каталогов землетрясений за весь инструментальный период наблюдений, в том числе для территорий, ранее недоступных для детальных сейсмических наблюдений.

Соискатель поставил и решил ряд научных задач, обеспечивших достижения поставленной цели, среди которых можно отметить следующие.

1. Разработать совокупность решений, направленную на повышение достоверности определения основных параметров землетрясений первой половины XX в. и современных землетрясений западного сектора Российской Арктики.

2. Обобщить сведения о зарегистрированных за первые десятилетия XX в. сильных арктических землетрясениях и провести уточнение основных параметров их очагов.

3. Создать новый сводный уточнённый и унифицированный каталог землетрясений западного сектора Российской Арктики за инструментальный период.

4. Выявить пространственно-временные и энергетические особенности проявления современной слабой сейсмичности западного сектора Российской Арктики и прилегающих территорий, в том числе срединно-океанического хребта Гаккеля, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга.

Цель работы соответствует современным тенденциям исследования сейсмического режима Арктического региона. А поставленные и решённые соискателем научные задачи имеют важное хозяйственное значение для страны, а именно – получение новых и уточнённых сведений о сейсмическом режиме арктических территорий Российской Федерации, что является основой для оценки потенциальных природно-техногенных рисков и обеспечения безопасной эксплуатации промышленных объектов при освоении крупных месторождений.

3. Значимость результатов, полученных автором, для науки и практики

В диссертационной работе представлен **ряд новых результатов**, имеющих важное научное и практическое значение, в частности:

– создан сводный электронный архив, содержащий бюллетени сейсмических станций, функционировавших в первой половине XX в., сведения о характеристиках их аппаратуры, а также сводные бюллетени и каталоги землетрясений начала XX в;

– создан новый метод вероятностной локации раннеинструментальных землетрясений на основе совместного анализа их макросейсмических и инструментальных данных;

– предложены и апробированы новые региональные скоростные модели, создана комбинированная модель, состоящая из 11 региональных моделей, уточнена шкала магнитуды *ML*;

– выявлены соотношения между магнитудами разных типов, вычисленные в отечественных и зарубежных региональных сейсмологических центрах;

– выявлены «забытые» сильные землетрясения Арктики, зарегистрированные в первые десятилетия XX в., и не упоминающиеся в современных каталогах;

– создан наиболее полный уточнённый каталог землетрясений Арктики за период с 1904 по 1920 г. с параметрами очагов для большей части рассмотренных землетрясений существенно отличными от первоначальных, приведенных в различных источниках;

– создан новый уточнённый и унифицированный каталог землетрясений для западного сектора Российской Арктики за период с 1908 по 2020 г.;

– выявлены зоны повышенной сейсмической активности в Баренцево-Карском регионе в районах, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга и, соответственно, не представленные в ЛДФ-моделях карт общего сейсмического районирования версий ОСР-97 и ОСР-2016;

– впервые по данным многолетних стационарных сейсмических наблюдений выявлены пространственно-временные особенности проявления слабой сейсмичности и роевых последовательностей землетрясений срединно-океанического хребта Гаккеля – одной из главных сейсмоактивных зон в Арктике;

– создан единый уточнённый каталог современных землетрясений приарктических территорий севера Восточно-Европейской платформы с использованием апробированной региональной модели, современного алгоритма локации и на основе данных бюллетеней, частично, исходных данных всех региональных сейсмических сетей, функционирующих на севере платформы;

– уточнены параметры очагов землетрясений, зарегистрированных за инструментальный период на севере Русской плиты, что позволило исключить землетрясения, не относящиеся к данному региону и, наоборот, включить сейсмические события, ранее не фигурировавшие в сейсмических каталогах по Европейскому Северу.

Результаты, полученные соискателем, отражены в научных положениях, вынесенных на защиту. А также нашли своё отражение в 28 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК РФ и индексируемых в Web of Science, Scopus и RSCI; в одной монографии и в пяти главах коллективных отечественных и зарубежных монографий. Соискателем в соавторстве создано одно учебно-методическое пособие, получено три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и базы данных, а также в международном сейсмологическом центре (International Seismological Centre) зарегистрированы три базы данных в виде каталогов землетрясений.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

– созданный электронный архив бюллетеней сейсмических станций первой половины XX в. позволяет проводить исследования по уточнению основных параметров очагов ранее зарегистрированных землетрясений на основе наиболее полных наборов инструментальных данных;

– разработанный метод вероятностной локации раннеинструментальных землетрясений позволяет проводить локацию землетрясений при небольшом количестве макросейсмических сведений и инструментальных данных для территорий, которые характеризуются умеренной сейсмичностью, однако долгое время не обладали плотной сетью сейсмических станций из-за малонаселённости и труднодоступности;

– вычисленные новые региональные одномерные скоростные модели и созданная комбинированная скоростная модель Евразийской Арктики, уточнённая шкала локальной магнитуды *ML* позволяют повысить достоверность локации и магнитудных оценок землетрясений в западном секторе Российской Арктики и на прилегающих территориях;

– выявленные соотношения между магнитудами разных типов, вычисленные в отечественных и зарубежных региональных сейсмологических центрах, позволяют унифицировать магнитуды при создании сводных каталогов землетрясений для оценки сейсмической опасности арктических территорий;

– созданный наиболее полный уточнённый каталог землетрясений Арктики за период с 1904 по 1920 г. содержит «забытые» сильные землетрясения Арктики, зарегистрированные в первые десятилетия XX в., и не упоминающиеся в современных каталогах, что может оказать влияние на итоговую оценку сейсмической опасности некоторых арктических территорий;

– созданный новый уточнённый и унифицированный каталог землетрясений для западного сектора Российской Арктики за период с 1908 по 2020 г. позволил уточнить пространственное распределение землетрясений в регионе и предложить рекомендации по корректировке границ, значений максимально возможных магнитуд и глубин доменов в ЛДФ-моделях карт общего сейсмического районирования ОСР-97 и ОСР-2016 для данного региона;

– полученные результаты по выявлению пространственно-временных особенностей проявления слабой сейсмичности и роевых последовательностей срединно-океанического хребта Гаккеля позволили уточнить наши представления о проявлении вулканотектонических процессов, протекающих в пределах хребта.

Таким образом, полученные в диссертации результаты имеют несомненно большое практическое значение и направлены на решение ряда важных научно-практических задач по уточнению сейсмической опасности арктических территорий и обеспечения безопасной эксплуатации промышленных систем и объектов при освоении крупных месторождений в западном секторе Российской Арктики.

4. Достоверность полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации

Диссертационное исследование, проведенное соискателем, выполнено на высоком методическом уровне, полученные результаты и выводы оригинальны. Достоверность полученных результатов обеспечена статистически представительным фактическим сейсмологическим материалом, унифицированным подходом к интерпретации полученных данных и комплексированием методов исследований. О достоверности свидетельствуют системный характер и непротиворечивость конечных результатов, а также согласованность с данными многих исследователей. Значительная часть материалов, изложенных в диссертационной работе, опубликована в рецензируемых рейтинговых журналах, получила экспертную оценку ученых и специалистов как составная часть отчетов о результатах фундаментальных исследований. Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на различных периодических международных и всероссийских конференциях.

Описанные в диссертации результаты могут служить основой для дальнейших исследований, связанных с оценкой потенциальных природно-техногенных рисков и сейсмической опасности арктических и прилегающих к ним территорий, уточнением параметров их сейсмического режима, построением геодинамических моделей, изучением напряженно-деформированного состояния земной коры. Они также могут быть применены для решения задач обеспечения безопасной эксплуатации промышленных систем и объектов при освоении крупных месторождений в западном секторе Российской Арктики.

5. Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и трёх приложений.

Во **введении** дается общая характеристика работы, обосновывается актуальность темы, определяются цель и задачи исследования, описываются научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приводятся структура работы и методология исследования, аргументируется достоверность результатов, формулируются основные научные положения, выносимые на защиту.

В **главе 1** приведён анализ развития инструментальных наблюдений и истории изучения сейсмичности Арктики, обращается внимание на технические ограничения, с которыми сталкивались исследователи при изучении сейсмичности арктических территорий в течение всего инструментального периода. В главе показано, что в течение всего инструментального периода обширные территории Арктики были крайне

неравномерно и слабо охвачены стационарными сейсмическими наблюдениями. Вычисление основных параметров землетрясений проходило в условиях малого количества станций и их удалённости от очагов, с неполным набором инструментальных данных, с применением устаревших в настоящее время скоростных моделей и алгоритмов локации. Землетрясения оценивались магнитудами разных типов, вычисленными в разных международных и региональных сейсмологических центрах. Поэтому существует необходимость в проведении исследований по обобщению и уточнению основных параметров (гипоцентр, магнитуда) землетрясений, зарегистрированных за весь период инструментальных наблюдений.

Таким образом, выводы главы 1 обосновывают актуальность и необходимость исследований, проведённых соискателем, и результаты которых опубликованы в следующих главах.

В главе 2 приведены результаты разработки совокупности решений, направленной на повышение достоверности определения основных параметров землетрясений первой половины XX в. и современных землетрясений западного сектора Российской Арктики. В частности, соискателем предложена совокупность решений, направленная на повышение достоверности определения основных параметров землетрясений первой половины XX в., включающая в себя: сводный электронный архив бюллетеней сейсмических станций; новый метод вероятностной локации раннеинструментальных землетрясений; современный алгоритм локации, реализованный в программе NAS (New Association System) и глобальную скоростную модель *ak135*.

Описанные выше результаты входят в первое защищаемое положение.

С целью повышения достоверности определения основных параметров современных землетрясений западного сектора Российской Арктики соискателем предложена совокупность решений, включающая в себя: новые и апробированные региональные одномерные скоростные модели; комбинированную скоростную модель, состоящую из 11 региональных моделей; уточненную шкалу локальной магнитуды *ML* и корреляционные связи между магнитудами разных типов, вычисленными в различных сейсмологических центрах; современный алгоритм локации, реализованный в программе NAS (New Association System), и интеграцию цифровых данных отечественных и зарубежных сейсмических станций.

Описанные результаты входят во второе защищаемое положение.

В главе 3 представлены результаты обобщения из разных источников сведений о землетрясениях Арктики, произошедших в начале XX в., уточнения основных их параметров и создания уточнённого и унифицированного каталога землетрясений за период

с 1904 по 1920 г. Вычисление параметров землетрясений проводилось соискателем на основе совокупности решений, описанной в главе 2.

Созданный и описанный в главе уточнённый и унифицированный каталог землетрясений Арктики за период с 1904 по 1920 г., включает «забытые» сильные землетрясения, не упоминающиеся в современных каталогах, и содержит параметры эпицентров для большей части землетрясений, существенно отличающиеся от первоначальных, приведенных в различных источниках. Представленные в созданном каталоге землетрясения, зарегистрированные в Арктике в начале XX в., имеют большое значение как для понимания общих закономерностей сейсмического процесса, так и для оценки сейсмической опасности арктических территорий, в том числе западного сектора Российской Арктики.

Полученные в главе результаты входят в третье защищаемое положение.

В главе 4 описаны результаты исследований соискателя по уточнению основных параметров землетрясений, зарегистрированных в Баренцево-Карском регионе в течение всего инструментального периода, и созданию нового уточнённого и унифицированного каталога землетрясений западного сектора Российской Арктики за период с 1908 по 2020 г. Вычисление параметров землетрясений также проводилось на основе совокупности решений, описанной в главе 2.

Созданный и описанный в главе единый уточненный и унифицированный каталог арктических землетрясений за период с 1908 по 2020 г. содержит в том числе данные о современной сейсмичности районов, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга, и отражает зоны повышенной сейсмичности в районе желобов Франц-Виктория и Св. Анны, о. Белый, архипелагов Новая Земля и Северная Земля. Создание каталога позволило в главе сформулировать рекомендации по изменению границ, значений максимально возможных магнитуд и глубин доменов ЛДФ-моделей карт ОСР-97 и ОСР-2016 для данного региона.

Полученные в главе результаты также входят в третье защищаемое положение.

В главе 5 представлены результаты многолетних стационарных сейсмических наблюдений за современной сейсмичностью одной из главных сейсмоактивных зон Арктики – срединно-океанического хребта Гаккеля. Выявлены пространственно-временные особенности проявления слабой сейсмичности в пределах хребта, в том числе роевых последовательностей низкомagnitudeных землетрясений. Исследование было проведено с применением совокупности решений, описанной в главе 2.

Экстремальные климатические и географические условия накладывают ограничения на проведение стационарных сейсмометрических наблюдений в пределах района хребта.

Однако в XXI в. благодаря развитию инструментальных наблюдений на арктических архипелагах Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Северная Земля появилась возможность регистрировать низкомагнитудные землетрясения в пределах срединно-океанического хребта Гаккеля на региональных расстояниях. На основе данных многолетних стационарных наблюдений Архангельской сейсмической сети (код сети АН) и с применением предложенной совокупности решений соискателем выявлены пространственно-временные закономерности проявления современной слабой сейсмичности и роевых последовательностей в пределах хребта. Данные закономерности характеризуют особенности проявления вулcano-тектонических процессов в пределах хребта Гаккеля с ультрамедленным спредингом.

Полученные в главе результаты входят в четвёртое защищаемое положение.

В главе 6 представлены результаты создания единого уточненного каталога современных землетрясений приарктических территорий севера Восточно-Европейской платформы (ВЕП) за период с 2004 по 2018 г. на основе объединения каталогов, бюллетеней и, частично, исходных данных всех региональных сейсмических сетей, функционирующих на севере ВЕП.

Начиная с 2004 г., приарктические территории севера ВЕП имеют наибольшую плотность сейсмометрических наблюдений за весь инструментальный период. Это создало условия для определения параметров гипоцентров современных землетрясений, в том числе низкомагнитудных, на основе данных сейсмических станций, расположенных в широком азимутальном створе и диапазоне эпицентральных расстояний. С применением совокупности решений, описанной в главе 2, соискателем создан единый уточненный каталог современных землетрясений приарктических территорий севера ВЕП за период с 2004 по 2018 г., что позволило выявить пространственно-временные и энергетические особенности проявления современной сейсмичности севера платформы.

В заключении работы лаконично описаны основные результаты, соответствующие цели и задачам диссертационного исследования.

Список литературы обширен, он включает 380 источников, в том числе 233 на иностранном языке и 56 за последние пять лет.

В приложениях приведены сводные бюллетени и каталоги землетрясений, полученные при выполнении диссертационного исследования.

Диссертация изложена на 286 страницах машинописного текста и содержит 71 рисунок и 35 таблиц. Иллюстративный материал представлен в высоком качестве, дает представление о проведенных исследованиях.

В целом диссертация представляет собой завершённое научное исследование с единой логической структурой и представляет собой решение актуальных задач, объединённых общим подходом, обеспечивающим возможность получения новых и уточнённых сведений о сейсмическом режиме арктических территорий Российской Федерации.

Представленный автореферат диссертации соответствует диссертационной работе.

6. Замечания

Существенных недостатков работа не содержит, тем не менее, у оппонента имеются следующие замечания, сформулированные ниже:

1. Первое защищаемое положение касается совокупности решений, направленной на повышение достоверности определения основных параметров землетрясений первой половины XX в. И применяется данная совокупность для землетрясений, зарегистрированных в Арктическом регионе в начале XX в. В диссертации соискателем не совсем ясно показано, можно ли применять данное решение для других регионов? То же замечание касается и второго защищаемого положения.
2. В международном сейсмологическом центре (ISC) в последние годы также проводили пересчёт параметров гипоцентров землетрясений с использованием новых моделей и алгоритмов для своего глобального каталога. В диссертации не в полной мере уделяется внимание этому вопросу.
3. В ходе диссертационного исследования соискателем были созданы новые каталоги землетрясений для разных районов и временных периодов. Однако по тексту диссертации и автореферата не совсем ясно, выложены ли данные каталоги в открытый доступ для их возможного использования другими исследователями?
4. Местами в тексте случаются несогласованности в падежах и числах, имеют место опечатки. На некоторых рисунках главы 3 надписи сделаны на английском языке.

Отмеченные замечания не умаляют достоинств диссертационного исследования.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным соискателем самостоятельно на высоком научном уровне. В заключение каждой главы сделаны четкие выводы. Выводы и рекомендации обоснованы.

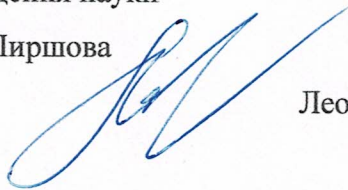
В диссертационной работе решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для страны и связанная с получением новых и уточнённых сведений о сейсмическом режиме арктических территорий Российской Федерации. Полученные в диссертации научные результаты являются основой для последующей оценки потенциальных природно-техногенных рисков и обеспечения безопасной эксплуатации промышленных объектов при освоении крупных нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени доктора наук, а её автор, Морозов Алексей Николаевич, достоин присуждения учёной степени доктора технических наук.

Я, Лобковский Леопольд Исаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
академик РАН, доктор физико-математических наук,
научный руководитель Геологического направления,
руководитель лаборатории геодинамики,
георесурсов, георисков и геоэкологии Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Института океанологии имени П.П. Ширшова
Российской академии наук



Леопольд Исаевич Лобковский

117997, Москва, Нахимовский проспект, дом 36;

lobkovskiy@ocean.ru;

тел. +7(499)124-59-90

19 апреля 2024 г.



Зав. канцелярией ИО РАН

Ушманова 88
