

## **ОТЗЫВ официального оппонента**

**на диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук Костылева Дмитрия Викторовича на тему: «Программно-аппаратный комплекс автоматизированного сбора, хранения и обработки сейсмологических данных и его применение в изучении природной и наведённой сейсмичности острова Сахалин» по специальности 1.6.9. Геофизика (технические науки)**

Диссертация Костылева Д.В. посвящена проблеме организации режимных сейсмологических наблюдений и изучению с их помощью наведенной сейсмичности на острове Сахалин. **Актуальность работы** обусловлена недостаточной изученностью связи между крупномасштабными горными работами и сейсмичностью. Ни для кого не секрет, что добывающие компании не всегда заинтересованы в выявлении такого рода связей и некоторые из них инициируют собственные исследования, в которых ставится задача приуменьшить влияние их деятельности на сейсмичность. В свою очередь, такого рода выводы могут послужить причиной недооценки техногенного фактора, что, в конечном итоге, может повлиять на безопасность населения. В связи с этим, выполнение объективных научных исследований с предоставлением аргументов и фактов является весьма актуальной задачей на настоящий момент. Апробация разработанных подходов на примере гигантского Солнцевского угольного разреза на Сахалине имеет важное практическое значение для адекватной оценки сейсмической опасности на острове. Автором впервые для Сахалинского региона сделана оценка соотношения между природной и техногенной сейсмичностью.

Другая актуальная задача, которая решается в рамках диссертационного исследования, состоит в унификации подходов, которые используются для совместной обработки данных региональных и локальных сетей по постоянным и временным станциям. Поскольку основные принципы получения и хранения данных по таким сетям могут существенно отличаться,

их совместный анализ представляет собой нетривиальную задачу. Автор сыграл ключевую роль в формировании современной конфигурации сейсмологических наблюдений Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Им разработаны системы сбора, передачи и оперативной обработки сейсмологических данных по постоянным и временным станциям. Важным этапом стала унификация потоков данных, которые изначально имеют существенно разные форматы и свойства. Автором была сформована концепция автономного пункта инструментальных наблюдений (АПИИ), которая показала свою эффективность для исследования крупных техногенных объектов.

В работе приводится детальный анализ данных по локальной сети в районе Солнечногорского угольного разреза, который показал существенное повышение качества определения координат и механизмов землетрясений после добавления дополнительных станций. Уникальность использованного набора данных состоит в сосуществовании в нем как промышленных взрывов, так и землетрясений, имеющих сопоставимые энергии. Их сопоставление и анализ дает дополнительные возможности для калибровки и тестирования методик обработки сигнала. Несомненной удачей для автора (но не для окружающей среды) стали мощные оползни, которые случились во время работы сети, и которые имеют четко выраженные следы на сейсмических записях. Выделение предвестников и сигнала в самом начале оползневого процесса может оказаться чрезвычайно востребованным для выработки действий в будущем по предсказанию такого рода катастроф и минимизации ущерба для населения и инфраструктуры.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 12 журнальных статьях и множестве тезисов по материалам конференций. Практически каждое утверждение, представленное в диссертации, подтверждается соответствующей публикацией. Из этого можно заключить, что работа прошла глубокую экспертизу со стороны высококвалифицированных коллег.

Вместе с тем, по ходу прочтения у меня возник ряд вопросов и замечаний.

В обзорной главе говорится о важности использования сейсмологической информации для определения параметров промышленных взрывов. Я не понимаю эту проблему. Если речь не идет, например, о мониторинге ядерных испытаний или прочей секретной активности, нет большой проблемы наладить контакты с организациями, производящими взрывы и получить от них точную информацию о координатах, времени и величине заряда. Такая информация будет гораздо более ценной для калибровки сейсмического оборудования, чем определения, получаемые по сейсмологическим данным, которые содержат значительные ошибки.

В обзоре различных систем наблюдения я не понимаю принципиальной разницы между объектовой и локальной сетью. По-моему, и то, и то применяется для мониторинга техногенных объектов. Не совсем понятно, зачем столько место в обзоре уделяется описанию сейсмических групп – антенн, хотя в собственной работе автора они нигде не используются. Также в обзоре я не понял, почему противопоставляются микросейсмичность и техногенная сейсмичность. По моему пониманию, техногенная сейсмичность, обладающая в подавляющем количестве малой магнитудой, является микросейсмичностью.

На рисунке 2.13 мне не понятен смысл облака точек, расположенной под кривой графика повторяемости. По определению графика повторяемости, одна точка на абсциссе (магнитуда) соответствует одной точке на ординате (количество событий). Что могут означать точки друг под другом остается для меня загадкой. На этом же рисунке, на левом графике аппроксимационная прямая должна, по моему мнению, проходить более круто. Еще есть вопрос, касающийся количества событий, на основании которых построены эти графики. В данном случае выборка ограничена магнитудой 2.4. Имеется ли в указанных выборках достаточное количество событий с магнитудами более 2.4 для построения этих кривых? Глядя на точки на кривой, я грубо могу

оценить их число от 500 до 1000. Надо указать эти числа для двух рассмотренных интервалов времени.

Сопоставляя Рисунок 2.14 с 2.8, можно видеть, что значительная часть представленных на правой картинке событий является афтершоками землетрясения 13.09.2020. Поэтому, вполне естественно, что основная масса зарегистрированных событий группируется вокруг главного землетрясения и отличается от распределения событий на предыдущем этапе. То, что действительно убедительно – это отсутствие сейсмичности во втором временном окне в морской зоне на западе от острова.

Для меня остались не совсем понятными критерии, по которым автор относит события к техногенным (или природно-техногенным). Эта тема проходит красной линией через всю диссертацию, однако я так и не увидел четкий список характеристик, которые позволяют сделать такую классификацию. Как я понял, одним из основных факторов для автора является механизм землетрясения: сбросы и взбросы относятся к природным, а сдвиги – к техногенным землетрясениям. Мне это не кажется очевидным. Во-первых, в любом районе со сложным строением даже при наличии четко определенного регионального поля напряжений существуют достаточно широкий разброс механизмов землетрясений, включая механизмы, не соответствующие региональным напряжениям. Разумеется, такие «исключения» нельзя автоматически относить к техногенным. Во-вторых, мне не понятны физические процессы, которые могут приводить к сдвиговым смещениям в случае проведения горных работ. Насколько я понимаю, перенос больших масс пород из одного места в другое скорее должен привести к вертикальным смещениям по принципу клавиш, что обеспечивает как раз сбросовые или взбросовые механизмы. Я не вижу в этом случае никаких физических процессов, которые запускали бы горизонтальные относительные смещения, подразумеваемые механизмом сдвига.

По этой причине, отнесение автором землетрясения 13 сентября 2020 года к техногенному (или природно-техногенному) по причине расположения

в окрестности крупного угольного разреза и сдвигового механизма очага не кажется мне полностью убедительным. Еще одним аргументом против такой классификации является его значительная глубина 10 км. Можно предположить, что антропогенная активность, связанная со взрывами и перераспределением масс на поверхности земли, влияет на распределение напряжений на относительно небольших глубинах. При этом, слой пород толщиной 10 км должен нейтрализовать влияние этих факторов, и они вряд ли могут привести к разгрузке напряжений на такой значительной глубине.

Установка локальной сейсмической сети на крупномасштабном угольном разрезе дает уникальную возможность тестирования подходов оценки параметров источников. Действительно, наличие промышленных взрывов с известными координатами и мощностью позволяет оценить ошибку определения эпицентра и магнитуды. Если эта ошибка носит регулярный характер для нескольких взрывов, то ее можно использовать для коррекции источников с неизвестными параметрами. К сожалению, в работе такого сопоставления я не увидел. Насколько я понял, идентификация взрывов и определение их локаций и магнитуды производилось с нуля без использования какой-либо априорной информации. Таким образом, предоставленная в ISC информация может содержать существенную погрешность, которую можно было бы уменьшить за счет использования хотя бы нескольких мастер-событий с известными параметрами. В то же время, на странице 100 указано, что информация о взрывах авторам предоставлена была, но я не нашел в работе, как она была использована для верификации определений.

Мне не совсем понятно, каким образом добавление станций региональной сети улучшает качество определения эпицентров событий. Насколько я понимаю, при удалении качество сигнала (отношение сигнал/шум) существенно понижается, соответственно, риск пикирования неправильной фазы увеличивается. Кроме того, при наличии существенных латеральных неоднородностей, волны на станции могут приходить либо быстрее, либо с задержкой. Этот фактор может играть принципиальное

значение, например, за счет существенной вариации толщины коры при переходе от континента к океану, что имеет место в рассматриваемом регионе, но не учитывается в алгоритмах локализации. В этом случае, чем больше эпицентральное расстояние, тем больше величина невязки. Соответственно, использование этих данных для локализации в рамках одномерной модели может привести к существенной ошибке определения координат источника. Если улучшение в результате добавления региональных станций все-таки наблюдается, то это надо проиллюстрировать, например, на мощных искусственных источниках с известными координатами, для которых можно в явном виде вычислить ошибку локализации. Для таких случаев необходимо предоставить решения на основе только локальной сети и с добавлением далеких станций. Честно говоря, результат такого сравнения для меня не является очевидным.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.9. Геофизика (технические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель **Костылев Дмитрий Викторович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9. Геофизика (технические науки).

**Официальный оппонент:**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент РАН, профессор Центра науки и технологий добычи углеводородов

Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий»

**КУЛАКОВ Иван Юрьевич**

16.10.2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7 913 155-...@...ail.com

Специальности, по которым официальным оппонентом защищена диссертация: 25.00.03. Геотектоника и геодинамика; 25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Адрес места работы: 121205, г. Москва, территория инновационного центра «Сколково», Большой бульвар, д. 30, стр. 1

Тел.: +7 495 280-14-81; E-mail: [inbox@skoltech.ru](mailto:inbox@skoltech.ru)

Подпись сотрудника Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий»

Кулакова Ивана Юрьевича удостоверяю:

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА  
КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ  
Гук О.С.

