

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических
наук Костылевой Натальи Владимировны на тему: «Технология
эксплуатации молекулярно-электронных датчиков для комплексных
геофизических исследований на территории Сахалинской области»
по специальности 1.6.9. Геофизика (технические науки)

Диссертационная работа Костылевой Н.В. посвящена тестированию сейсмических датчиков, основанных на принципе молекулярно-электронного переноса, и на создании оптимальной системы регистрации сейсмического сигнала для решения мониторинговых задач на территории Сахалинской области. Диссертация написана грамотным языком, хорошо структурирована и содержит большое количество иллюстративного материала, который выполнен, в целом, на достаточно высоком уровне качества.

Актуальность работы состоит, прежде всего, в том, что в ней приводятся количественные доказательства работоспособности МЭП датчиков, разработанных в Российской Федерации. В связи со сложившейся политической ситуацией, рынок высококачественных зарубежных сейсмометров оказался закрыт для российских специалистов. Кроме того, и до введения санкций, высокая цена зарубежного оборудования являлась существенной преградой для его закупки для решения научных задач в российских академических организациях. МЭП датчики приобретались в качестве недорогой альтернативы и использовались в сейсмологических экспериментах. Они достаточно неплохо показали себя для выявления сейсмических событий и снятия времен прихода объемных сейсмических волн. Однако, существовали сомнения в устойчивости регистрации амплитудно-частотных характеристик, что является принципиальным моментом для определения магнитуды событий, при применении методик сейсмической интерферометрии, а также при изучении сейсмического затухания. Такого рода неопределенность сильно ограничивала область

применения этих приборов. В работе Костылевой Н.В. приведены результаты тестирования нескольких модификаций МЭП сенсоров, которые, во-первых, показывают границы применимости этого оборудования в реальных экспериментах для различных видов работ. Во-вторых, они позволяют производителю оборудования учесть эти факторы и включить соответствующие обратные связи в новых модификациях, чтобы минимизировать их влияние.

Важным результатом работы Костылевой Н.В. является то, что ей показана возможность применения МЭП сенсоров для выполнения всех задач сейсмического мониторинга, выполняемых Сахалинским филиалом ФИЦ ЕГС РАН. Это дает основание продолжать приобретение этого оборудования для создания новых точек наблюдения на территории, контролируемой филиалом. Это позволяет успешно продолжать развитие системы сейсмологического мониторинга в России, несмотря на сложности в современной геополитической ситуации.

Все результаты диссертации описаны в 12 статьях в рецензируемых научных журналах, пять из которых рекомендованы для защиты в МГУ. Этого количества публикаций вполне достаточно для полноценной защиты.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении устанавливаются цели и задачи исследования, указывается научная новизна, формулируются защищаемые положения. В целом, эти пункты сформулированы корректно, однако по некоторым из них у меня есть несколько замечаний.

По моему мнению, не очень удачно сформулирована цель исследования, которая состоит в *«разработке технологии эксплуатации широкополосных молекулярно-электронных датчиков для комплексных геофизических исследований на территории Сахалинской области»*. Сразу возникает вопрос: отличается ли технология эксплуатации датчиков в Сахалинской области от

технологии, например, в Камчатском крае? Я не нашел в диссертации четкого ответа на этот вопрос.

При описании достоверности результатов зачем-то дается абзац с описанием программного инструмента DIMAS, который используется для рутинной обработки данных, и является одним из основных инструментов в данной работе, однако к достоверности результатов имеет лишь косвенное отношение.

В первой главе дается описание основных принципов работы датчиков движения на основе молекулярно-электронного переноса. В этой главе представляется обзор существующих сейсмических датчиков, основанных на этом принципе, и сделан вывод о достаточно высоком уровне проработки этого направления у отечественных производителей, которые являются лидерами по производству такого рода оборудования в мире. К этой главе у меня замечаний нет.

Во второй главе дается описание полевых испытаний нескольких типов молекулярно-электронных сейсмометров, включающих широкополосный велосиметр СМЕ-6111, специально сконструированный гидрофон с установкой в скважине и в открытом бассейне, а также несколько типов короткопериодных сейсмических датчиков. Оборудование было установлено в нескольких локациях на островах Сахалин и Кунашир. Для всех установленных приборов был организован удаленный доступ к регистрируемым данным, позволяющий в оперативном режиме фиксировать особенности записей. Разработанные системы являются прототипами пунктов сейсмического мониторинга, построенные на основе инновационного отечественного оборудования, которые можно внедрить для расширения возможностей сети Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН (СФ ФИЦ ЕГС РАН).

Вместе с тем, при прочтении второй главы у меня возник ряд вопросов и комментариев. Прежде всего, мне кажется, что не совсем корректно производится сравнение результатов идентификации сейсмических событий

постоянной сетью СФ ФИЦ ЕГС РАН и вновь установленным оборудованием. В тексте указано общее количество событий, зарегистрированных сетью СФ ФИЦ ЕГС РАН и значительно меньшие числа событий, идентифицированных МЭП-сейсмометрами. Из такого сравнения создается впечатление о существенно более низкой чувствительности тестируемых приборов. На самом деле, речь, по-видимому, идет о локальных событиях с малыми магнитудами, которые регистрируются только на близлежащих пунктах постоянной сети. Отсутствие уверенной записи на тестируемых сейсмометрах, по-видимому, связано не столько с их более низкой чувствительностью, сколько с географическим расположением и удаленностью от события. В этом смысле, более корректно было бы установить отечественные МЭП-сейсмометры в одной локации с лучшими приборами зарубежного производства, стоящими на вооружении СФ ФИЦ ЕГС РАН. Также было бы интересно попробовать выделить слабые события, расположенные в непосредственной близости к тестовым полигонам, которые не были обнаружены с помощью постоянной сети, что показало бы эффективность использования нового оборудования и его корректное качество.

Одним из важных пунктов во второй главе является тестирование гидрофонов на предмет использования для регистрации сейсмологического сигнала. Утверждается, что этот тип приборов позволяет расширить частотный диапазон по отношению к широкополосным велосиметрам. Вместе с тем, эффективность использования этого оборудования для решения практических сейсмологических задач кажется мне не совсем убедительной. Главным недостатком гидрофонов является их слабая чувствительность к записи сигнала поперечных волн. К тому же, на практике представляется крайне нефункциональным требование установки прибора в водной среде: либо в скважине, либо в бассейне. Помимо того, что это сильно усложняет процесс установки такого рода прибора, это дает дополнительные факторы неопределенности, связанные, например, с колебаниями воды в скважине или фактом замерзания воды в бассейне, что описано в разделе 3.3. Насколько я

понимаю, схожее расширение частотного диапазона можно получить при использовании простых геофонов, а в случае установки трехкомпонентных датчиков, появляется возможность надежной регистрации поперечных волн. В связи с этим, мне не понятен смысл использования гидрофонов в качестве регистрирующего сейсмического датчика на суше.

В третьей главе приводятся оценки влияния различных внешних факторов на работу молекулярно-электронных сейсмометров. В первой части главы описан эксперимент по выявлению связи между переменным электрическим полем и сейсмическими сигналами, зарегистрированными МЭП сейсмометрами. Результаты показывают четкую корреляцию между амплитудой зарегистрированного сейсмического шума и произведенными электрическими импульсами. Эта связь является результатом регистрации реакции среды в земной коре на электрическое воздействие и это может стать интересным способом комплексирования двух принципиально разных методов для изучения глубинного строения Земли.

Связь сейсмического сигнала с электромагнитными воздействиями могла бы стать более наглядной, если бы на графиках с сейсмическим шумом (например, на Рисунке 3.7) были бы наложены стадии проведения электрозондирований. Сейчас эти два типа информации приведены на разных рисунках, что не удобно для восприятия. В тексте говорится о наличии доминирующих частот в сейсмическом сигнале 4.27 Гц и 12.5 Гц, однако на приведенных спектрограммах на Рисунке 3.8 никаких всплесков на этих частотах я не вижу, возможно, из-за неоптимальной цветовой шкалы.

Важная часть третьей главы посвящена выявлению зависимости МЭП-сейсмометров от внешней температуры. Показано, что в силу того, что интенсивность ионной проводимости существенно зависит от температуры рабочей жидкости, интенсивность зарегистрированных сейсмических колебаний падает в холодных условиях. Это, в свою очередь, может оказать влияние на определение магнитуды землетрясений и других важных параметров. Построение количественных зависимостей позволяет учесть этот

фактор и скорректировать на этапе определения значений амплитуд сигнала. С другой стороны, это дает возможность производителям оборудования организовать обратную связь на инструментальном уровне, чтобы минимизировать эту зависимость на этапе регистрации.

В работе автор упоминает эксперименты с записями сигнала в диапазоне частот выше 1 кГц, которые позволяют регистрировать предвестники землетрясений. Однако, насколько я понимаю, регистрация сейсмологических данных во всех приведенных экспериментах производится с гораздо более низкой частотой дискретизации, что не позволяет изучать такие сигналы. Поэтому, я не понимаю смысла обсуждения этих высокочастотных предвестников в данной работе.

Автор несколько раз утверждает, что *«датчики обладают значительно меньшим весом и на порядок меньшей стоимостью, практически не требуют времени для выхода на рабочий режим, отличаются очень низким энергопотреблением, долгим сроком службы и просты в эксплуатации»*. По каждому из этих пунктов я могу поспорить. Если сравнивать с сенсором Guralp-6T, то вес и энергопотребление у них схожее, а Trillium-Compact существенно меньше по весу. Насколько я знаю из собственного опыта работы, время выхода на рабочий режим у молекулярных сейсмометров больше, чем у механических аналогов. В работе утверждается, что автором показана возможность установки сенсоров с допустимыми углами, однако никаких тестов по этому направлению я не нашел, также, как и допустимую величину угла отклонения.

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 **Костылева Наталья Владимировна** 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

11.02.2025 г.

Контактные данные:

тел.: , e-mail:

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

Подпись сотрудника Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» Кулакова Ивана Юрьевича удостоверяю: