

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)

Актуальность избранной темы определяется тем, что наряду с нефтью и газом, в современной экономике, добыча угля играет одну из ключевых ролей. Разработка значительной части угольных месторождений зависит от геолого-структурных особенностей среды, а также от условий залегания мощных угольных пластов и, в основном, ведется открытым способом. Такой способ разработки, несомненно, является более рентабельным с точки зрения экономики и позволяет извлечь в разы больше породы, чем при закрытом способе. Пространство в этом случае не ограничено, есть возможность использовать тяжелую технику, что увеличивает производительность труда и его безопасность. Однако при разработке угольных месторождений открытым способом, происходят изменения напряженно-деформированного состояния горных пород в бортах карьеров, что зачастую является причиной возникновения землетрясений. По сути своей это есть реакция земной коры на воздействия различного вида. Это могут быть воздействия динамического характера, либо длительные и медленно развивающиеся нагружения, которые изменяют геодинамический и флюидодинамический режимы района.

Запасы полезных ископаемых острова Сахалин разнообразны и по отдельным видам достаточно велики. На Сахалине насчитывается более 50 видов минерального сырья, из которых первоочередное значение имеют добыча нефти, газа, каменного и бурого угля. Активная разработка перечисленных полезных ископаемых сопровождается значительным

воздействием на территорию острова, обладающего очень большим сейсмогенным потенциалом. Влияние разработок угольных месторождений на сейсмичность районов добычи до настоящего времени оставалась для о. Сахалин неизученным направлением. Таким образом, проведение исследований, направленных на изучение природы возникновения и закономерностей формирования наведенной сейсмичности при добыче угля открытым способом, делает особо важным.

Использование данных сетей регионального уровня с широкополосной аппаратурой, позволяет достаточно устойчиво идентифицировать взрывы, однако, в случаях, когда взрывы и землетрясения близки по местоположению, возникает актуальность повышения точности идентификации природы регистрируемых событий. Использование данных плотных локальных сетей сейсмологических станций даёт гораздо более полную информацию о наведенной сейсмичности. Создание же систем двухуровневого мониторинга на основе сочетания локальных и региональных сетей, позволяет значительно повысить точность и представительность регистрации техногенных землетрясений, а также установить периоды сейсмической активизации вблизи открытых горных выработок.

Степень обоснованности положений, выносимых на защиту

Заявленной целью в работе является создание автоматизированной системы контроля за природной и техногенной сейсмичностью острова Сахалин. Для достижения этой цели в работе Костылева Д.В. была сформирована единая система сбора сейсмологических данных, объединяющая все сейсмические станции СФ ФИЦ ЕГС РАН с унификацией сейсмологических данных в едином формате, включающую в себя созданную систему мониторинга на локальном уровне в районе Солнцевского угольного разреза. Также был выполнен анализ данных, полученных в 2021-2023 гг. с использованием локальной сети сейсмического мониторинга района Солнцевского угольного разреза по разным аспектам для оценки

применимости сети как инструмента для мониторинга геофизических процессов в районе разработок полезных ископаемых.

На защиту вынесены три основных положения:

1. Реализованная комплексная автоматизированная система мониторинга природной и техногенной сейсмичности острова Сахалин, включающая региональную и локальную сеть, интегрирована в единую систему сбора, обработки и хранения информации СФ ФИЦ ЕГС РАН на аппаратном и программном уровне в общем информационном поле данных.

2. Созданная двухуровневая система мониторинга позволяет проводить регистрацию сейсмических событий в районе Солнцевского угольного разреза с магнитудой M_L от 0.2, а также дает возможность контролировать влияние буровзрывных работ, проводимых на разрезе, на геосреду района.

3. Анализ материала, полученного с использованием созданной системы мониторинга, позволяет предполагать наличие перехода к природно-техногенной природе сейсмичности в районе добычи полезных ископаемых.

Обоснование положений строится на экспериментальных данных. В результате интеграции различных источников сейсмологических данных в единую систему сбора, обработки и хранения данных с использованием современных программно-аппаратных решений, значительно повысилась точность определения эпицентров и взрывов, а также появилась возможность проводить расчеты по определению типов механизмов очагов землетрясений для более детального понимания причин их возникновения и возможных воздействий на объекты инфраструктуры региона. Совместное использование данных станций региональной и созданной локальной сети позволило проводить регистрацию оползневых процессов на отвалах карьера и выполнять оценку их устойчивости, а также вести контроль сейсмического воздействия промышленных взрывов.

Высокая степень и достоверности изложенных в работе результатов и защищаемых положений обеспечивается интеграцией созданной локальной сети сейсмического мониторинга Солнцевского угольного разреза в единую

систему сбора СФ ФИЦ ЕГС РАН в составе Федеральной сети сейсмологических наблюдений. Используемые для построения сети программно-аппаратные решения полностью соответствуют стандартам и форматам, применяемым в мировых системах обмена сейсмологическими данными. Для решения поставленных задач выбраны программно-аппаратные и технологические решения для построения системы сбора, обработки и хранения сейсмологических данных, в соответствии с концепцией единого поля информационных данных, включающие в себя: серверные и коммуникационные подсистемы (каналы связи-передачи данных, протоколы передачи данных, операционные системы, программное обеспечение), а также средства предоставления и отображения данных.

Итогом и основным результатом диссертационной работы, определяющем ее ценность для науки, следует считать созданную единую систему сбора, обработки и хранения сейсмологических данных, не имеющую до этого времени аналогов в Сахалинской области. Диссертантом предложены и реализованы программно-аппаратные решения построения единого информационного поля сейсмических данных на основе сейсмических сетей различных платформ и систем сбора данных, а также разработана концепция создания унифицированного автоматизированного пункта инструментальных сейсмологических наблюдений на базе современного оборудования.

Научная новизна и практическая значимость работы определяются именно этим результатом. На основании изучения динамики изменения сейсмичности района активной добычи полезных ископаемых на о. Сахалин, с точки зрения классических индикаторов для выделения в характере сейсмичности техногенной компоненты, показан переход от естественной сейсмичности к смешанной природно-техногенной сейсмичности в Углегорском районе Сахалинской области в последнем десятилетии. Предложены и реализованы программно-аппаратные решения построения единого информационного поля сейсмических данных на основе

сейсмических сетей различных платформ и систем сбора данных, а также разработана концепция создания унифицированного автоматизированного пункта инструментальных сейсмологических наблюдений на базе современного оборудования. Представленные научно-практические результаты, полученные в результате работы локальной сети в 2021-2023 гг., подтверждают применимость созданной сети как инструмента для мониторинга геофизических процессов в районе разработок полезных ископаемых.

Оценка публикаций диссертанта

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 статьях в рецензируемых научных журналах. Три статьи проиндексированы в реферативных базах Web of Science и SCOPUS. По теме диссертации опубликовано 18 статей в сборниках материалов всероссийских и международных конференций. Каталог промышленных взрывов СУР представлен в репозитории Международного сейсмологического центра (ISC).

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие в формировании и развитии региональной сети и системы сбора и обработки сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН, а также в разработке концепции построения Автономных пунктов инструментальных наблюдений (АПИИ). Автором проделан весь цикл работ по созданию локальной сети мониторинга района СУР: от выбора мест размещения АПИИ до интеграции получаемых данных в единую систему сбора сейсмологической информации в СФ ФИЦ ЕГС РАН. Автором проведена адаптация и настройка всех аппаратных и программных компонент созданной сети. С использованием специализированного программного обеспечения для работы с каталогами автором проведены расчеты по исследованию сейсмичности района СУР. Автор принимал личное участие в работах в эпицентральной зоне Углегорского землетрясения 2020 года и проведении макросейсмических обследований.

Объем и структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 128 листах, включает в себя 50 рисунков, 10 таблиц, 187 библиографических ссылок.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цели и основные задачи работы, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены проявления наведенной сейсмичности около горнодобывающих предприятий. Подчеркнута важность мониторинга сейсмического режима районов с активными разработками полезных ископаемых вообще и открытым способом, в частности, особенно для определения возможной активизации сейсмических событий с минимальным порогом обнаружения. Выделены основные уровни мониторинга — национальный, региональный и локальный. Показано, что лучшие примеры создания сейсмологических сетей контроля наведенной сейсмичности предусматривают создание систем двухуровневого мониторинга на основе сочетания локальных и региональных сетей.

Во второй главе изучена динамика изменения сейсмичности района активной добычи полезных ископаемых на Сахалине в условиях изменения способов добычи и интенсификации воздействия на недра, связанные с увеличением объемов извлекаемых полезных ископаемых и перемещаемых горных масс. Рассмотрен ряд классических индикаторов для выделения в характере сейсмичности техногенной компоненты, каждый из которых указывает на изменения в сейсмическом режиме в районе добычи углеводородов за последнее десятилетие. Наличие дополнительных признаков техногенной сейсмичности (изменение характера наклона графиков повторяемости и механизмов землетрясений, миграция эпицентров землетрясений и пр.) позволяет говорить о переходе от естественной сейсмичности к смешанной природно-техногенной сейсмичности в Углегорском районе Сахалина.

Третья глава рассматривает процесс создания единого информационного поля сейсмических данных на основе сейсмических сетей различных платформ и систем сбора данных. В главе обобщён опыт автора в формировании и развитии сейсмической сети и системы сбора сейсмологических данных в Сахалинском филиале ФИЦ ЕГС РАН. Приведены описания принципов и технологий, реализованных в СФ ФИЦ ЕГС РАН в организации процессов создания пунктов сейсмических наблюдений и интеграции их в единую систему сбора сейсмологических данных. Детально представлена концепция реализации автономных пунктов инструментальных наблюдений (АПИН), как основы для создания сейсмических станций сетей любого уровня: регионального, локального, а также полевых и временных сетей.

В результате работ, выполненных автором, система сейсмического мониторинга СФ ФИЦ ЕГС РАН была сформирована на базе единой системы сбора и обработки сейсмологической информации, что позволило значительно расширить количество наблюдательных пунктов и станций, входящих в систему сбора и значительно повысить регистрационные возможности сети наблюдений.

Четвертая глава описывает процесс создания локальной сети мониторинга района Солнцевского угольного разреза и представляет первые результаты её работы. Показано, что использованные аппаратные и программные средства и примененные решения при построении АПИН локальной сети мониторинга соответствуют принятым стандартам в сетях такого уровня. Всё перечисленное позволяет сделать вывод о пригодности новой локальной сети, как части региональной сети СФ ФИЦ ЕГС РАН на основании оценок регистрационных возможностей, уровня шумов, а также совместимости протоколов и форматов данных. Станции новой сети позволяют проводить регистрацию и оценку не только землетрясений и взрывов, но и прочих геофизических процессов в районе мониторинга, например, таких как сели и оползни.

Интеграция данных, поступающих с новых пунктов сейсмических наблюдений и данных станций региональной сети, позволяет повысить точность определения эпицентров и взрывов, а также даёт возможность проводить расчеты по определению типов механизмов очагов землетрясений для более детального понимания причин их возникновения и возможных воздействий на объекты инфраструктуры района мониторинга.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Стоит отметить и некоторые замечания и пожелания к диссертационной работе:

1. В первом защищаемом положении следует изменить согласование по числу и использовать следующую редакцию (предлагаемые изменения выделены жирным шрифтом): «Реализованная комплексная автоматизированная система мониторинга природной и техногенной сейсмичности острова Сахалин, включающая региональную и локальную **сети, интегрированные** в единую систему сбора, обработки и хранения информации СФ ФИЦ ЕГС РАН на аппаратном и программном уровне в общем информационном поле данных»

2. Неоптимальная организация представления метаинформации – отсутствие списка условных обозначений и терминов, отсутствие в диссертации отдельного списка публикаций автора в рецензируемых журналах (присутствует только в автореферате).

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:

Кандидат физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией геоинформатики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

АЛЁШИН Игорь Михайлович

(подпись)

16.10.2024 г.

Контактные данные:

тел.: 7 499 254 8997, e-mail: ima@ifz.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.02. Теоретическая физика

Адрес места работы: 123242 г. Москва, ул. Большая Грузинская, дом 10, стр. 1

Тел.: +7 766-26-56; E-mail: direction@ifz.ru

Подпись сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН
Алёшина Игоря Михайловича удостоверяю:

16.10.2024 г.

Зав. канцелярией
Верейская Д.В.

