

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ  
ИНСТИТУТ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

*На правах рукописи*

**КОСТЫЛЕВ ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ**

**РАЗВИТИЕ СЕТИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА  
О-ВЕ САХАЛИН И КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ**

(25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых)

**НАУЧНЫЙ ДОКЛАД ОБ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ НАУЧНО-  
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ)**

Научный руководитель  
кандидат технических наук  
Каменев Павел Александрович

Южно-Сахалинск - 2020

**Оглавление**

Общая характеристика работы.....	3
Структура научно-квалификационной работы.....	10
Заключение.....	14

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность темы исследования**

Одной из важнейших компонент для выполнения фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в области проблем геофизики является проведение сейсмического мониторинга. Сейсмический мониторинг относится к технологиям уменьшения риска опасных природных явлений. Он базируется на организации сети непрерывных долговременных наблюдений на исследуемой территории. В современной трактовке мониторинг включает не только регистрацию, но и дальнейшую оперативную передачу сейсмологических данных, их обработку и интерпретацию с выходом на прогнозные оценки, а также накопление и систематизацию полученного материала в архивах данных. В зависимости от размеров охватываемой мониторингом территории он может подразделяться на уровни: мировой, региональный, локальный. Согласно постановлению Президиума РАН № 47 от 21 февраля 2006 г. проведение непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира возложено на Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН). На территории Сахалинской области выполнение задач по сейсмическому мониторингу обеспечивает Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СФ ФИЦ ЕГС РАН). Кроме этого, СФ ФИЦ ЕГС РАН выполняет работы по обеспечению функционирования системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке. В свете этих задач, а также высокой сейсмичности района мониторинга, первоочередной целью развития сейсмометрических наблюдений на Сахалине является создание сети цифровых сейсмических станций, решающих задачи, как локального, так и регионального мониторинга и

объединенных в единое информационное поле. Кроме того, проведение сейсмического мониторинга в регионах с высокой сейсмичностью является неотъемлемой частью систем обеспечения безопасности ответственных сооружений. Для Сахалинской области это прежде всего объекты нефтегазового комплекса, системы транспорта и коммуникаций, объекты энергосистемы. Соединенная со средствами коммуникаций, система мониторинга позволяет осуществлять уведомление населения и официальных лиц о происходящих землетрясениях или других сейсмических событиях.

Кроме сейсмического мониторинга, для Сахалинской области крайне необходимы работы по проведению комплексных геофизических исследований. Опыт Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН) показывает [Чебров, 2019] важность подобных исследований, прежде всего, для фундаментальной науки. Такие работы, как исследование геофизических процессов и их взаимосвязей на основе данных непрерывных сейсмоакустических, гидрогеодинамических, сейсмологических и других видов наблюдений, а также изучение природы краткосрочных и среднесрочных предвестниковых аномалий в динамике подпочвенного радона и сейсмичности, позволят, в перспективе, подойти к разработке моделей подготовки и методов долгосрочного и краткосрочного прогноза сильных сахалинских и курильских землетрясений на основе комплекса сейсмологических, геофизических и космофизических данных.

**Цель работы** — создание единой сети сбора сейсмологических данных, объединяющей все сейсмические станции СФ ФИЦ ЕГС РАН и доступные источники сейсмических данных на территории мониторинга; проведение опытных экспериментальных исследований по комплексированию различных доступных геофизических данных.

В соответствии с этим решались следующие **задачи**:

1. Выбрать базовую систему сбора и обработки сейсмологических данных.
2. Унифицировать сейсмологические данные, поступающие с источников сейсмической информации — сейсмических станций и пунктов инструментальных наблюдений (ПИН) в соответствии с выбранной системой сбора.
3. Обеспечить работу каналов передачи сейсмологических данных и их контроля в режиме реального времени.
4. Разработать систему архивирования и хранения сейсмологических данных в едином формате.
5. Подготовить и адаптировать программное обеспечение обработки сейсмологических данных, с учётом параметров используемого оборудования.
6. Для проведения комплексных геофизических исследований начать работу по созданию базы данных различных геофизических параметров.

### **Методы решения задач**

Для решения поставленных задач проведено обобщение опыта построения систем сбора сейсмологической информации, нашедших применение на Дальнем Востоке Российской Федерации, а также в Японии. Определены методы по модификации существующих компонент сети сбора сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН для приведения всех поступающих сейсмологических данных к единому стандарту. Выбраны программно-аппаратные решения для построения единого информационного поля сейсмологических данных. Для проведения комплексных геофизических наблюдений выполнены работы по установке различного геофизического

оборудования и определены методы и параметры для проведения комплексных исследований.

**Научная новизна** заключается в том, что в результате проведенных работ информационно-обработывающий центр СФ ФИЦ ЕГС РАН окончательно завершил переход к работе со всеми имеющимся источникам сейсмологических данных в едином формате, на базе единой системы сбора, как режиме реального времени, так и в виде архивной информации. Кроме того, впервые для Сахалинской области начаты работы над мониторингом ряда геофизических параметров и их совместным анализом по выявлению закономерностей их взаимосвязей с сейсмическими процессами.

#### **Достоверность результатов и выводов.**

Подтверждается, прежде всего, интеграцией построенной в СФ ФИЦ ЕГС РАН системы сейсмического мониторинга в Федеральную сеть сейсмологических наблюдений (ФССН). Используемые для построения системы программно-аппаратные решения полностью соответствуют стандартам и форматам, применяемым в мировых системах обмена сейсмологическими данными.

#### **Практическая значимость.**

В результате выполненных работ за период 2013-2019 годы 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.

Существующая сеть сейсмического мониторинга позволяет производить обнаружение и регистрацию как слабых, так и сильных сейсмических событий, выполнять оперативную обработку

инструментальных данных о сейсмических событиях, с целью быстрой оценки возможной угрозы и её масштабов. Полученные результаты обеспечивают своевременную передачу данных и взаимодействие со структурными подразделениями ГУ МЧС России по Сахалинской области и Службой предупреждения о цунами (СПЦ) по обеспечению оперативной информацией о возможной угрозе.

Созданный банк сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН выполняет сбор, накопление, систематизация и анализ данных инструментальных наблюдений зоны мониторинга. На основе этих материалов проводится анализ и оценка сейсмической обстановки в Дальневосточном регионе РФ, представляемые на заседаниях Сахалинского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (СФ РЭС).

Произведена установка и апробация современного, инновационного оборудования для радонового и сейсмоакустического мониторинга, создана база данных выполненных наблюдений.

Работа выполнена в соответствии с научными темами и планами работ государственным заданиям СФ ФИЦ ЕГС РАН (ответственный исполнитель) и ИМГиГ ДВО РАН (исполнитель) по (исполнитель); проектом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) №18-07-00966 «Исследование триггерных деформационных эффектов по данным о сейсмичности о. Сахалин с применением сейсмических датчиков нового типа» (исполнитель).

#### **Личный вклад автора.**

Автором изучена работа различных систем сбора и обработки сейсмологических данных, используемых в СФ ФИЦ ЕГС РАН и, на основании разработанных программно-аппаратных решений, проведено их

объединение на базе единой системы сбора, администрирование работы которой проводится автором в непрерывном режиме;

Автором, на основании международного опыта и в рамках имеющегося финансирования, разработан унифицированный образец модуля автоматизированного пункта инструментальных сейсмических наблюдений (ПИН), как элемента системы сбора сейсмологических данных;

На основании данного образца, при участии автора, выполнялись работы по открытию новых ПИН сейсмической сети, включающие рекогносцировочные работы на местах установки ПИН, их установка, настройка, и включение ПИН в систему сбора сейсмологических данных.

Автором проводится метрологическая поддержка программного обеспечения обработки данных, с учетом амплитудно-частотных характеристик оборудования, используемого в сейсмической сети;

Автором проведена оценка регистрационных возможностей сети мониторинга СФ ФИЦ ЕГС РАН и разработана методика оценки стабильности ее работы;

Автором, в сотрудничестве с различными научными учреждениями РАН, начаты работы по развитию методов комплексных геофизических наблюдений на Сахалине и Курильских островах. Произведена установка нового оборудования, поддерживается база данных, получаемых материалов и их первичный анализ в сочетании прочими геофизическими и природными параметрами.

Самостоятельно и вместе с соавторами участвовал в подготовке научно-технических отчетов и публикаций по теме работы, обобщению материала и формулировке выводов.

### **Публикации.**



Основные результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в рецензируемых научных журналах, из них 3 – в изданиях, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией (ВАК) и проиндексированных в реферативных базах Web of Science и SCOPUS. По теме диссертации опубликовано 13 статей в сборниках материалов всероссийских и международных конференций.

### **Апробация работы.**

Результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, были представлены на международных и всероссийских научных мероприятиях, в том числе:

1. IX международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 08-12 сентября 2014 г., Республика Армения;
2. XI международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 12-16 сентября 2016 г., г. Чолпон-Ата, Кыргызстан;
3. JpGU-AGU Joint Meeting 2017. 20-25 мая 2017 г. Chiba, Japan;
4. XII международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 11-15 сентября 2017 г., г. Алматы, Казахстан;
5. VI научно-техническая конференция «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». 01-07 октября 2017 г., г. Петропавловск-Камчатский;
6. 10th Biennial workshop on Japan-Kamchatka-Alaska subduction processes (JKASP-2018) 20-26 августа 2018 г., г. Петропавловск-Камчатский;

7. XIII международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 11-15 сентября 2018 г., г. Душанбе, Таджикистан;
8. Japan Geoscience Union Meeting 2019. 26-30 мая 2019 г., Chiba, Japan;
9. III международная научная конференция «Геодинамические процессы и природные катастрофы» 27-31 мая 2019 г., г. Южно-Сахалинск;
10. V международная конференция «Триггерные эффекты в геосистемах» 04-07 июня 2019 г., г. Москва;
11. XII международный салон средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность 2019», 05-07 июня 2019 г., г. Москва;
12. VII научно-техническая конференция «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». 29 сентября-05 октября 2019 г., г. Петропавловск-Камчатский;
13. XXIII ежегодная научная конференция, посвящённая Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский 30-31 марта 2020г.

### **Структура и объем работы.**

Структура работы определяется целью и задачами исследования, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 98 страницах, включает в себя 49 рисунков, 5 таблиц, 108 библиографических ссылок.

### **Структура научно-квалификационной работы**

Научно-квалификационная работа состоит из трёх глав.

В первой главе представлена история создания и развития сети сейсмических наблюдений в Сахалинской области с начала XX века до

настоящего времени. Рассмотрено сочетание принятой классификации этапов развития сейсмических наблюдений и особенностей этого развития, характерных для острова Сахалин и Курильских островов. Особое внимание уделено периоду перехода к цифровым методам регистрации сейсмических событий на примере сети станций наблюдений на острове Сахалин и Курильских островах и появлению нового типа сейсмических станций - автоматических пунктов инструментальных сейсмологических наблюдений.

Показана актуальность объединения данных, получаемых на сейсмических станциях в единую систему сбора и мониторинга. Представлен обзор развития глобальных и региональных сетей сейсмических наблюдений на Дальнем Востоке России и используемые в этих сетях аппаратное и программное обеспечения. Оценена ситуация, сложившаяся с системами сбора сейсмологических данных, используемых в СФ ФИЦ ЕГС РАН в период окончательного перехода на цифровые методы регистрации и определен круг проблем, решение которых необходимо для создания и функционирования единой системы мониторинга.

Показано современное состояние и оснащение сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН. Дана классификация станций СФ ФИЦ ЕГС РАН по типу используемой аппаратуры, методам получения и обработки данных, режиму и объему выполняемых на станциях работ. Показана перспективность развития стационарных автономных пунктов инструментальных сейсмологических наблюдений, работающих без обслуживающего персонала, в автоматическом режиме, с передачей регистрируемых данных в реальном времени на серверы сбора данных. Отдельно перечислены особенности работы сети станций полевых станций на юге о. Сахалин с целью выявления слабой сейсмичности наиболее густонаселенной части острова.

Приведен перечень используемого для сейсмических наблюдений в СФ ФИЦ ЕГС РАН оборудования и программного обеспечения.

Во второй главе определено понятие системы сбора, обработки и архивирования сейсмологических данных. Выделены этапы формирования

системы сбора, обработки и хранения сейсмологических данных в СФ ФИЦ ЕГС РАН, непосредственно связанные с развитием сети цифровых сейсмических станций, расположенных на территории филиала. Рассмотрена архитектура серверов сбора сейсмических данных. Определены основные критерии, предъявляемые к архитектуре, для создания системы сбора данных, позволяющей безболезненно интегрировать новые источники сейсмологических данных в общую информационную систему РИОЦ, организовывать обмен данными между серверами и, при необходимости, дублировать потоки данных. Показана реализация единой системы сбора сейсмологических данных в СФ ФИЦ ЕГС РАН, решающей проблемы, связанные с конвертацией, сбором и хранением данных различных форматов. Приведены аппаратные и программные решения, использованные при создании данной системы на примерах интеграции в общую систему оборудования, установленного в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в сотрудничестве с Хоккайдским Университетом, а также данные, предоставляемые международными сейсмическими сетями и региональными сетями дальневосточных научных организаций. Созданная система обеспечила создание в СФ ФИЦ ЕГС РАН единого информационного поля, которое позволило получить доступ к данным независимо от оборудования и исходных форматов источников этих данных.

На основании проведенных работ дана оценка современного состояния сети сбора сейсмологических данных в СФ ФИЦ ЕГС РАН, проведена оценка регистрационных возможностей сейсмологической сети в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН и прилегающей территории. Разработана и представлена методика оценки стабильности работы сейсмических станций, как основного параметра надёжности функционирования сейсмической сети. Финальной стадией производства сейсмологических наблюдений является сбор и систематизация накопленного материала. В работе перечислены программно-аппаратные решения по созданию в СФ ФИЦ ЕГС РАН банка сейсмологических данных.

Отдельно представлены работы по расширению сети сейсмологических наблюдений в СФ ФИЦ ЕГС РАН, выполненные в 2020 году в рамках проекта «Создание и развитие системы комплексной безопасности и защиты от рисков чрезвычайных ситуаций» на Курильских островах. Используя имеющийся опыт по созданию автономных станций, на основе современных средств сейсмического мониторинга, была разработана и реализована система мониторинга за сейсмической активностью, посредством организации пунктов инструментальных сейсмологических наблюдений (ПИН) на островах Кунашир и Итуруп, в целях обеспечения поддержки принятия решений Аварийно-спасательного центра мониторинга и прогноза чрезвычайных ситуаций (АСЦМП) Главного управления МЧС России по Сахалинской области.

Таким образом, все перечисленные работы позволяют рассматривать систему сбора сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН в качестве одной из важнейших компонент Уникальной Научной Установки (УНУ) ФИЦ ЕГС РАН — Комплекса непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира.

Третья глава посвящена развитию комплексных геофизических наблюдений в Сахалинской области. Одним из направлений таких наблюдений является мониторинг подпочвенного радона (ПР) сетью пунктов на юге острова Сахалин. Представлен обзор применяемого метода и дано описание сети пунктов радонового мониторинга. Приведены результаты работы сети пунктов регистрации ПР, описаны возникающие при эксплуатации технические проблемы и пути их решения. На примере сейсмического события 23.01.2020 г. в заливе Анива показан отклик в поле подпочвенного радона. Сделаны предварительные выводы о результатах выделения предвестниковых аномалий в поле подпочвенного радона для мелкофокусных землетрясений юга острова Сахалин.

В качестве второго направления комплексных геофизических наблюдений предложены методики совместного анализа сейсмологических,

сейсмоакустических и других геофизических данных. В качестве источника данных всех видов геофизической информации рассмотрен геодинамический полигон на базе сейсмической станции «Южно-Курильск». Использование данных сейсмических наблюдений оборудованием станции, дополненное данными сейсмоакустического мониторинга, установленным в 2019 году молекулярно-электронным гидрофоном, а также данными радонового и гидрогеодеформационного мониторинга, проводимого на станции различными научными организациями, позволяет проводить анализ корреляций записей перечисленных источников данных с другими факторами (атмосферное давление, ионосферная и приливная активность и т.п.).

Проделанная работа показывает необходимость комплексирования различных видов геофизических наблюдений для повышения эффективности методов мониторинга и краткосрочного прогноза землетрясений. В ходе работ осуществлена апробация современного, инновационного оборудования, как серийного, так и прототипов. Развернутые системы комплексных геофизических наблюдений, очевидно, представляют существенный интерес. За чуть более годовалый срок, получена достаточно интересная информация, характеризующая геодинамическую активность исследуемых территорий. Кроме того, совместный анализ сейсмологических, сейсмоакустических и других геофизических данных может быть направлен на разработку методики для выработки краткосрочных заключений и развитии сейсмического режима на острове Сахалин и в районе Южных Курильских островов.

### **Заключение**

В результате выполненных в работе исследований получены следующие результаты:

1. Обоснована необходимость построения сейсмических сетей на основе всех доступных источников сейсмологических данных.

2. Предложены и реализованы программно-аппаратные решения построения единого информационного поля сейсмических данных на основе сейсмических сетей различных платформ и систем сбора данных.
3. На примере работы сейсмической сети СФ ФИЦ ЕГС РАН проведен анализ регистрационных возможностей сети и её технического состояния, после выполненных работ по модернизации системы сбора.
4. Дана систематизация типологии станций сейсмической сети СФ ФИЦ ЕГС РАН по критериям методик работы станций и используемого оборудования.
5. Разработана концепция создания унифицированного автоматизированного пункта инструментальных сейсмологических наблюдений на базе современного оборудования.
6. Показана необходимость комплексирования различных методов геофизических наблюдений с целью мониторинга развития сейсмических процессов.