

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента на диссертацию**  
**Федоровой Ларисы Лукиничны**  
**«НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ**  
**ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**  
**РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ»,**  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 2.8.3 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология,  
геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

**Актуальность темы диссертации.** Диссертационная работа Федоровой Л.Л. посвящена решению актуальной научно-технической проблемы, имеющей важное значение для горнопромышленного комплекса России, особенно для арктических и субарктических регионов, таких как Республика Саха (Якутия). Развитие минерально-сырьевой базы, в том числе россыпных месторождений алмазов, золота и платины, требует оперативной и достоверной информации о строении и состоянии многолетнемерзлых толщ в условиях техногенного воздействия при ведении добычных работ. Традиционные методы разведки (бурение, шурфование) не всегда обеспечивают необходимую детальность и оперативность, а также являются дорогостоящими и трудоёмкими.

Георадиолокация (ГРЛ) как высокоразрешающий геофизический метод имеет значительный потенциал, однако его применение в криолитозоне осложняется отсутствием научно обоснованных методик, учитывающих специфику электрофизических свойств мерзлых пород, их сезонную изменчивость и сложное строение россыпей. В связи с этим разработка научно-методических основ георадиолокационных исследований для оценки горно-геологических условий и геокриологических параметров массивов пород является своевременной и востребованной. Актуальность работы подтверждается соответствием её задач стратегическим приоритетам развития минерально-сырьевого комплекса РФ и программам социально-экономического развития Арктической зоны.

**Цель работы** – разработка научно-методических и технологических основ изучения горно-геологических условий и геокриологических параметров массива горных пород россыпных месторождений криолитозоны методом георадиолокации, направленных на повышение информативности и достоверности результатов эксплуатационной разведки. Поставленные автором задачи полностью соответствуют достижению указанной цели.

**Научная новизна работы.** В диссертации получен ряд новых фундаментальных и прикладных результатов:

1. Разработан комплекс георадиолокационных моделей верхней части разреза многолетнемерзлых пород для Субарктической и Умеренной климатических зон Якутии, достоверно отражающих строение и состояние массивов, включая подземные льды, талики, палеоруслу и участки валунистости. Впервые на основе численного и физического моделирования установлен эффект пространственного гармонического резонанса на подземных льдах, проявляющийся в виде режекции спектра частот ГРЛ-сигналов.

2. Экспериментально выявлен эффект накопления заряда на контрастных по электропроводности границах, что позволяет проводить качественную и количественную оценку состояния исследуемой среды по данным ГРЛ.

3. Установлены основные закономерности изменения параметров ГРЛ-сигналов и особенности радарограмм, позволяющие оценивать горно-геологические условия (геологическое строение, состав пород, наличие геокриологических объектов) и разработаны соответствующие интерпретационные признаки и алгоритмы обработки.

4. Впервые получена эмпирическая зависимость относительного снижения скорости распространения электромагнитной волны в дисперсных породах при переходе из мерзлого состояния в талое от их влажности ( $N_v = 1,55 \cdot W + c$ ) для диапазона 7-25%, что легло в основу методики георадиолокационного мониторинга влажности.

**Теоретическая значимость работы** заключается в создании типовых георадиолокационных моделей для россыпных месторождений криолитозоны, которые являются важным вкладом в фундаментальные исследования свойств, строения и состояния мерзлых массивов в условиях климатических изменений и техногенного воздействия.

**Практическая значимость** определяется тем, что разработанные методики и технологии позволяют:

- проследить границы продуктивных горизонтов;
- картировать структурные неоднородности и геокриологические объекты;
- оценивать влажность дисперсных пород по разносезонным измерениям;
- выявлять участки развития опасных криогенных процессов (пучение, суффозия, термокарст) в основаниях горнотехнических сооружений.

Результаты внедрены в практику горнопромышленных предприятий Якутии (АО «Алмазы Анабара», АО ГДК «Алдголд», ПАО «Мечел» и др.) и используются для выбора рациональных технологических решений и обеспечения безопасности горных работ.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** Диссертантом на защиту вынесено пять научных положений, содержание которых изложено и научно обосновано в соответствующих разделах диссертации. Выводы информативны и основаны на результатах численного и физического моделирования, полевых экспериментах, на результатах исследований, подкрепленных актами внедрения, а также внушительным списком публикаций в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Достоверность научных положений, выводов** обеспечена значительным объемом экспериментальных и натурных измерений (период 2000-2025 гг.), корректным применением методов математического и физического моделирования, компьютерной обработки данных, а также подтверждением результатов георадиолокации контрольным бурением и другими геофизическими методами. Научные положения и выводы, положенные в основу разработанных методик, прошли промышленную апробацию на предприятиях добывающих полезные ископаемые.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на многочисленных международных и всероссийских конференциях, включая International Conference on Ground Penetrating Radar (2012-2018 гг.), «Неделя горняка» (2011-2025 гг.), «Георадар» (2017-2023 гг.) и др. По теме опубликовано 132 работы, в том числе 42 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, 2 монографии, 1 патент, 4 программы для ЭВМ и 2 базы данных.

### **Оценка содержания диссертации.**

Представленная диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения. Работа изложена на 258 страницах, содержит 117 рисунков, 15 таблиц и список литературы из 259 наименований.

Диссертация и автореферат соответствуют паспорту научной специальности 2.8.3 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Диссертация и автореферат написаны грамотным техническим языком, с использованием общепринятой горной и геофизической терминологии. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы, раскрывает ее идею, защищаемые положения, научную новизну и выводы.

**Во введении** обоснована актуальность, сформулированы цель, задачи, научная новизна, практическая значимость и защищаемые положения.

**Глава 1** содержит обзор современного состояния методов оценки свойств горных пород в криолитозоне. Автором проанализированы горно-геологические и геокриологические условия двух климатических зон Якутии (Субарктической и Умеренной), показаны преимущества и ограничения существующих способов получения информации, включая бурение и геофизику. Обоснована перспективность метода георадиолокации и выявлены основные проблемы, препятствующие его широкому внедрению.

**Глава 2** посвящена разработке георадиолокационных моделей. Здесь детально рассмотрены электрофизические свойства пород, проведено электродинамическое моделирование с использованием оригинального метода дифференциальных ABCD-матриц, а также моделирование в среде grfMax. Разработаны типовые модели для Субарктической зоны (горизонтально-слоистый разрез, палеорусло, подземный лёд, повторно-жильные льды) и Умеренной зоны (рыхлые отложения, дражный котлован зимой и летом, сильно-льdistые породы). Это позволило установить характерные волновые картины и критерии идентификации объектов. Безусловно, результаты моделирования внесли весьма существенный вклад в методику интерпретации результатов георадарного зондирования, т.к. при интерпретации велика вероятность субъективного подхода к толкованию результатов георадиолокации.

Для численного моделирования используется как авторская программа на основе ABCD-матриц, так и программная среда grfMax. Желательно было бы более чётко обосновать, для каких типов задач предпочтительнее тот или иной инструмент.

Полученные в главе результаты доказывают первое защищаемое положение.

**Глава 3** представляет алгоритмы и программно-методическое обеспечение обработки и интерпретации данных. Предложен алгоритм обработки для слоистых сред, включающий первичную обработку, вейвлет-анализ и послойную трассировку. Разработаны признаки выявления пластового льда (смена фазы, отношение амплитуд, «изрезанность» спектра). Предложены интерпретационные признаки для неоднородностей (трещиноватость, карстовые пустоты, зоны суффозии) и методика статистической обработки (дисперсия амплитуд, кластерный анализ). Разработан алгоритм 3D-моделирования геокриологических структур на основе обратных взвешенных расстояний.

Безусловно, применение предложенных интерпретационных признаков для оценки сложности инженерно-геокриологических условий ведения горных работ повысили эффективность распознавания пластового льда, зон повышенной влажности, участков пучения пород, зон суффозии.

Но в предложенных интерпретационных признаках, для выделения неоднородностей в массиве горных пород, не учитывается такой важный параметр, как минерализация жидкости (льдистости) заполняющих поровое пространство.

Полученные в главе результаты являются доказательством второго защищаемого положения.

**Глава 4** посвящена методике оценки влажности дисперсных пород. Представлены результаты лабораторных экспериментов по исследованию скорости распространения сигнала в образцах песка при оттайке. Установлена зависимость  $N_v = 1,55 \cdot W + c$ , связи скорости распространения электромагнитной волны и влажности горных пород, которая легла в основу методики разносезонных измерений для оценки влажности в диапазоне 7-25%. Разработано программное обеспечение для реализации этой методики.

При физическом моделировании, из рисунка 4.3 следует, что на разных песках (кварцевый песок и горный песок), при одних и тех же диапазонах изменения влажности, разрешающая способность метода георадиолокации различна. Следовало бы пояснить, почему?

Полученные в главе результаты доказывают третье защищаемое положение.

**Глава 5** описывает технологию георадиолокационных зондирований при изучении разрабатываемого массива. Даны рекомендации по выбору аппаратуры (антенные блоки серии «ОКО») и параметров измерений в зависимости от глубины и сезона. Представлены методики прослеживания границ продуктивных горизонтов на примере алмазоносных россыпей, картирования дражных полигонов с водной поверхности, а также методика непрерывного профилирования протяженных и площадных участков исследований с борта воздушного судна (вертолёт, самолёт) с GPS-привязкой. Показано, как эти технологии позволяют уточнять гипсометрию плотика, мощность песков и распределение подземных льдов.

При описании технологии георадиолокации с борта воздушного судна, указаны оптимальные параметры полёта (скорость 100-150 км/ч, высота 20-30 м). Однако не обсуждается, как влияют на качество данных вибрации, а также не приведены примеры радарограмм, полученных с разных типов носителей (самолёт, вертолёт, БПЛА) для сравнения.

Полученные в главе результаты являются доказательством четвёртого защищаемого положения.

**Глава 6** посвящена применению георадиолокации при инженерно-геологических изысканиях. Рассмотрены методики параметрических зондирований (угловое сканирование, скважинная ГРЛ), результаты физического моделирования оттайки массива. Разработана технология мониторинга криогенных процессов (пучение, суффозия, талики) на основе режимных наблюдений, включая программно-методический комплекс с базой данных и ГИС. Приведены примеры выявления опасных зон на автодорогах, дамбах и других сооружениях.

При изучении геокриологических процессов, следовало бы применить комплексирование георадиолокационного метода с другими геофизическими методами, например, сейсморазведкой, электроразведкой, что позволило бы повысить достоверность оценки развития опасных криогенных процессов.

Эти результаты обосновывают пятое защищаемое положение.

**Заключение** содержит обобщение полученных результатов, подтверждает достижение поставленной цели и решение всех заявленных задач. Выводы логически вытекают из проведённых исследований, имеют доказательную базу и хорошо коррелируют с представленными данными.

#### **Личный вклад автора**

Федорова Л.Л. не только непосредственно участвовала во всех этапах работы (от постановки задач до интерпретации данных), но и лично получила все представленные в диссертации научные результаты. Ей принадлежат разработка георадиолокационных моделей, алгоритмов обработки, методик оценки влажности и мониторинга криогенных процессов, а также обобщение и анализ многолетних полевых и лабораторных исследований.

#### **Замечания и вопросы по диссертационной работе:**

1. В главе 2, посвящённой георадиолокационным моделям, для численного моделирования используется как авторская программа на основе ABCD-матриц, так и программная среда grgMax. Желательно было бы более чётко обосновать, для каких типов задач предпочтительнее тот или иной инструмент.

2. Глава 3. В предложенных интерпретационных признаках, для выделения неоднородностей в массиве горных пород, не учитывается такой важный параметр, как минерализация жидкости (льдиности) заполняющих поровое пространство.

3. Глава 4. При физическом моделировании, из рисунка 4.3 следует, что на разных песках (кварцевый песок и горный песок), при одних и тех же диапазонах изменения влажности, разрешающая способность метода георадиолокации различна. Следовало бы пояснить, почему?

4. В главе 5, при описании технологии георадиолокации с борта воздушного судна, указаны оптимальные параметры полёта (скорость 100-150 км/ч, высота 20-30 м). Однако не обсуждается, как влияют на качество данных вибрации, а также не приведены примеры радарограмм, полученных с разных типов носителей (самолёт, вертолёт, БПЛА) для сравнения.

5. Глава 6. При изучении геокриологических процессов, следовало бы применить комплексирование георадиолокационного метода с другими геофизическими методами, например, сейсморазведкой, электроразведкой, что позволило бы повысить достоверность оценки развития опасных криогенных процессов.

6. Некоторые рисунки (например, рис. 2.22, 3.12) имеют мелкую детализацию осей и условных обозначений, на рисунке 3.23, нет названия осей, что затрудняет их восприятие.

Указанные замечания и рекомендации не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

#### **Заключение о соответствии диссертационной работы установленным критериям.**

Диссертационная работа Федоровой Ларисы Лукиничны является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны научно-методические основы применения георадиолокации для изучения горно-геологических условий россыпных месторождений криолитозоны. Совокупность полученных результатов имеет важное научно-хозяйственное значение для горнодобывающей промышленности Российской Федерации, особенно в арктических и субарктических регионах. В целом, работа отличается продуманностью, системным подходом и методической строгостью, что

позволяет рассматривать её как завершённое исследование, обладающее теоретической и практической значимостью. Поставленные цели и задачи полностью соответствуют заявленной теме и специальности 2.8.3 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», а структура диссертации обеспечивает последовательное раскрытие темы: от теоретических основ до практической реализации.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Федорова Лариса Лукинична, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.8.3 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Горное дело»  
Технического института (филиала)  
федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Северо-Восточный федеральный университет  
имени М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри

Гриб Николай  
Николаевич

Адрес места работы: 678960, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри,  
ул. Кравченко, 16  
Телефон: +79241608478

Электронная почта: [grib-n-n@yandex.ru](mailto:grib-n-n@yandex.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена  
диссертация: 2.8.3 - «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая  
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

*Я, Гриб Николай Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу, в соответствии с требованиями Минобрнауки России.*

21.05.2026 г.

Подпись официального оппонента заверяю

