

На правах рукописи



Сергеев Константин Сергеевич

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И
ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ В МАЛОГЛУБИННОЙ ГЕОФИЗИКЕ**

Специальность 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре разведочной геофизики и компьютерных систем РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

- Научный руководитель:** **Доцент кафедры разведочной геофизики и компьютерных систем, к.т.н., доцент Белоусов Александр Валерьевич**
- Официальные оппоненты:** **Профессор кафедры геофизических методов исследования земной коры МГУ имени М.В. Ломоносова, д.т.н., профессор**
Модин Игорь Николаевич
Заместитель генерального директора ООО «ГеоСигнал», к.т.н.
Федотов Сергей Александрович
- Ведущая организация:** **Общество с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики и транспорта "Энерготранспроект"**

Защита состоится «15» мая 2018 года в 17:00 в ауд. 523 на заседании диссертационного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.200.05 в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (119991, Москва, Ленинский проспект, д. 65, корп. 1).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (119991, Москва, Ленинский проспект, д. 65 корп. 5) и на официальном сайте: https://www.gubkin.ru/diss2/files/Dissertation_Sergeev_KS.pdf.

Автореферат разослан «__» _____ 201__ года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.200.05
кандидат геолого-минералогических
наук, доцент

Хохлова М.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы:

Малоглубинная (инженерная) геофизика начала свое развитие и постепенное отделение от разведочной геофизики в начале 20-х годов прошлого столетия (Золотая Л.А., 2006). В связи с увеличением объемов сложного, масштабного и ответственного строительства появилась необходимость в проведении предварительной разведки площадок и территорий для решения инженерно-геологических задач. С развитием методов малоглубинной геофизики связаны имена таких ученых, как Огильви А.А., Горяинов Н.Н., Хмелевской В.К., Ляховицкий Ф.М. и многих других.

Современная малоглубинная геофизика представляет собой сочетание новейшей цифровой аппаратуры и мощного математического аппарата. С точки зрения аппаратуры, в малоглубинной сейсморазведке стали применяться многоканальные линейно-телеметрические или полностью телеметрические многокомпонентные системы, которые ранее были введены в практику нефтяной сейсморазведки. Стоит отметить и изменения в малоглубинной электроразведке на постоянных токах. Около 10 – 15 лет назад появился новый метод – электротомография, – который включает в себя уникальную методику проведения работ, обработки и интерпретации данных. С точки зрения программно-вычислительных комплексов, благодаря персональным компьютерам (ПК) и серверам, способным обрабатывать и хранить большие объемы данных, обработка и интерпретация перешли в двумерную и трехмерную область.

Малоглубинная геофизика постепенно стала неотъемлемой частью жизни и развития техногенного общества. В настоящее время круг задач, стоящих перед ней, существенно расширился. Без ее помощи уже невозможно представить изучение геологии верхней части разреза (ВЧР) и обоснование заключения о строении исследуемого объекта; изыскания для строительства; проверку строения дорожной одежды; картирование карьеров; поиск малоглубинных залежей руд; обследование торфяных болот; поиск и изучение опасных геологических процессов (ОГП), зон вечной мерзлоты и растепления; сопровождение археологических работ и т.д. В мире насчитывается несколько крупных геофизических и геологических сообществ – SEG, EAGE, EAГО, SPE и др., – в рамках которых существуют отдельные секции и конференции, посвященные рассмотрению вопросов, касающихся всех методов и направлений малоглубинной геофизики. В России и за рубежом производится высококачественная современная аппаратура под различные методы (направления) исследований.

Наиболее активно малоглубинная геофизика может (и, наверное, должна) применяться в городах-мегаполисах в условиях плотной застройки и наличия подземных коммуникаций; при проектировании и

эксплуатации объектов нефтегазового комплекса (НГК); при строительстве новых зданий и сооружений, автомобильных и железных дорог, взлетно-посадочных полос; при изучении ОГП.

Исходя из этого, повышение достоверности геолого-геофизического прогноза по данным малоглубинной геофизики является актуальной задачей.

Цель работы:

Основной целью исследований является повышение эффективности малоглубинных геофизических исследований на основе разработки методики проведения работ и комплексирования результатов сейсморазведки (МОВ, МПВ) и электротомографии с привлечением данных других геофизических методов.

Для выполнения поставленной цели в работе ставятся и решаются следующие задачи:

1. Дать физико-геологическое обоснование геофизических методов применительно к задачам изучения верхней части разреза;
2. Провести математическое моделирование данных сейсморазведки и электроразведки по аномалиеобразующим разрезам;
3. На основе эталонных объектов выработать методические приемы и комплексы при решении инженерно-геологических задач;
4. Осуществить апробацию разработанной методики в реальных условиях.

Методы исследований, примененные в данной работе: анализ геологических аспектов и физико-геологических особенностей изучаемых явлений; численное математическое моделирование и оценка применимости геофизических методов; полевые эксперименты и наблюдения.

В данной работе впервые предлагается схема комплексирования методов сейсмо- и электроразведки, основанная на перекрестном контроле (кросс-верификации) результатов исследований при визуальном и количественном их анализе.

Научная новизна:

1. Предложена методика выбора оптимального комплекса методов в зависимости от объекта исследований (объектно-ориентированный подход в малоглубинной геофизике);
2. Разработаны рекомендации по повышению детальности геофизических изысканий на различных этапах проведения работ;
3. Предложена технология комплексного анализа результатов разнородных геофизических исследований с возможностью контроля качества на основе сходимости полученных результатов.

Основные защищаемые положения:

1. Объектно-ориентированный подход при выполнении малоглубинных геофизических исследований позволяет рационально выбрать комплекс методов и дает возможность корректировать методику проведения работ для получения наилучшего результата.
2. Предложенная схема проведения комплекса инженерно-геофизических изысканий повышает достоверность прогноза в различных физико-геологических условиях.
3. Технология комплексного анализа результатов разнородных геофизических исследований позволяет повысить достоверность геологического прогноза, что подтверждается экспериментальными данными.

Практическая значимость:

1. Разработанная методика позволяет выбрать наиболее эффективный комплекс инженерно-геофизических методов, ориентированный на изучаемый объект работ, а также проводить комплексную интерпретацию полученных результатов с целью повышения надежности геологического прогноза.
2. Полученные в ходе опробования методики результаты позволили успешно решить геологическую задачу на разнородных объектах (оползневой склон в Сабурово и скально-обвальные борта гранодиоритового карьера; ММП в Западной Сибири; обследование карстующихся толщ и воронок на территории Нижегородской и Калужской областей; изучение археологических объектов древнего Смоленска (Гнездово) и городища IX – XI вв. на примере комплекса Шниткино).
3. Результаты работы могут быть использованы в производственной и научно-исследовательской деятельности предприятий, ведущих геофизические изыскания, а также в учебном процессе специальности 21.05.03 «Технология геологической разведки».

Личный вклад:

Все данные, использованные в работе, собраны автором во время учебы в аспирантуре и работы в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. Все основные положения данной диссертационной работы предложены автором лично, апробация методики осуществлена автором и коллективом лаборатории инженерной геофизики на различных научных и производственных проектах.

Апробация работы:

Основные положения работы докладывались автором на следующих конференциях: «Инженерная, угольная и рудная геофизика – 2015: современное состояние и перспективы развития» (28 сентября - 2 октября 2015 года, Сочи, ЕАГО); «Инженерная геофизика – 2015» (20 - 24 апреля

2015 года, Геленджик, EAGE); «Арктика - Нефть и газ 2015» (21 - 23 апреля 2015 года, Москва, ИПНГ РАН); «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» (26 - 27 ноября 2015 года, Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет); «Инженерная геофизика – 2016» (25 апреля 2016 года, Анапа, EAGE).

Публикации:

По диссертации было опубликовано 14 работ, в том числе 4 – в изданиях из перечня ВАК; 9 – в сборниках материалов российских и международных конференций (5 работ из сборников материалов конференций включены в международную базу данных Scopus).

Объем и структура работы:

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 135 страниц, в том числе 86 рисунков, 4 таблицы. Список литературы включает 82 наименования, в том числе 9 наименований на английском языке.

Благодарности:

Автор благодарит своего научного руководителя за помощь в проведении научных исследований и реализации проектов, а также идеологическое вдохновение, методические рекомендации, критику и проверку данной диссертации. Автор искренне признателен всем геологам, геофизикам и археологам, которые на разных этапах исследований и подготовки диссертационной работы оказывали содействие и помощь, в частности: Бобачеву Алексею Анатольевичу, Гантову Борису Алексеевичу, Новикову Василию Васильевичу.

Также хочется выразить благодарность Смоленской археологической экспедиции Государственного исторического музея за возможность проведения геофизических исследований на археологических памятниках культуры.

И наконец, данная работа была бы просто невозможна без помощи и поддержки сотрудников и коллег кафедры разведочной геофизики и компьютерных систем РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, а также коллектива лаборатории инженерной геофизики.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обзор направлений малоуглубинной геофизики, кратко описывается история развития данной прикладной науки, обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цели и задачи исследований, новизна, защищаемые положения, практическая значимость работы, а также выражаются благодарности за содействие и помощь.

Глава 1. Обзор методов, используемых в малоглубинной геофизике

К основным методам в малоглубинной сейсморазведке относятся: метод преломленных волн (МПВ) (Боганик Г.Н. и Гурвич И.И., 2006); метод общей глубинной точки (МОГТ) (Yilmaz O., 1986); метод поверхностных волн (Yilmaz O., 2015) и вертикальное сейсмическое профилирование (Гальперин Е.И., 1982). Аппаратурная часть малоглубинной сейсморазведки не имеет принципиальных отличий от нефтяной. Аппаратура, применяемая в нефтяной сейсморазведке, постепенно перешла в малоглубинную и успешно применяется для решения различных задач.

В малоглубинной электроразведке самыми популярными из методов постоянного тока являются вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) (Хмелевский В.К., Модин И.Н., Яковлев А.Г., 2005) и их модификация ЭТ (электротомография) (Бобачев А.А., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В., 2007).

Георадиолокация также относится к одному из наиболее популярных методов малоглубинной геофизики (Владов М.Л., Старовойтов А.В., 2004), который позволяет получать результаты практически в режиме реального времени.

Немаловажным для обеспечения корректности геофизических исследований является тщательное проведение топогеодезических работ. Данные работы помогают получить данные о пространственном расположении профилей на объекте и высотные отметки точек наблюдения.

Глава 2. Физико-геологическое обоснование методов малоглубинной геофизики на примере различных целевых объектов

Геофизические методы (сейсморазведка, электроразведка и георадиолокация) основываются на контрасте физических свойств горных пород. Данные аспекты следует учитывать при проведении работ на различных объектах. Следовательно, для каждого объекта или задачи методы и методику необходимо подбирать индивидуально на основе данных о физических свойствах, сведений о геологической обстановке и результатов опытно-методических работ (объектно-ориентированный подход). Необходимо априорное представление об изучаемом объекте (его примерные размеры, глубина залегания, геологическое строение, генезис и т.д.) для выбора оптимальной методики, системы наблюдений и комплекса работ. Опираясь на приведенные в тексте работы данные по геологии и физические возможности методов, а также их результаты, в таблице 1 предлагается оценка применимости геофизических методов в различных условиях.

Таблица 1 – Оценка применимости различных методов на целевых объектах

	МОГТ	КМПВ	ЭТ	Георадио- локация	Магнито- разведка	Грави- разведка
Изучение строения разреза	+	+/- (*)	+	+	-	-
Оползни	-	+	+	+	-	-
Карсты	+	+	+	+	-	+/- (**)
ММП	+	+	+	+/- (***)	-	-
Поиск линейных объектов	-	+	+	+	+	-
Археология	-	+	+	+	+	-

Комментарии к таблице 1

* Изучение строения разреза подразумевает построение структурных планов, которые должны быть привязаны по глубине. Сейсморазведка МОГТ позволяет выделить структурные горизонты, которые на основе данных ВСП могут быть пересчитаны в глубинный масштаб. Глубинно-скоростные модели МПВ, как правило, являются градиентными; поэтому при интерпретации возникает вопрос перехода от градиентной модели среды к пластовой.

** Карст. Перед проведением работ методом гравirazведки необходимо провести математическое моделирование для оценки величины изменения гравитационного поля при известных параметрах карстовой полости (размеры и глубина залегания). Из этого следует, что одним из условий является обязательное наличие априорной геологической информации.

*** ММП. Метод георадиолокации стоит применять на объектах данного рода при небольшой глубине их залегания (3 – 10 метров). Также стоит отметить, что наличие глинистых пород во вмещающем разрезе может значительно ухудшить качество данных и снизить глубинность метода.

Подробное описание физико-геологического обоснования применения и эффективности различных методов малоглубинной геофизики на целевых объектах (оползни и оползневые процессы, карст и карстующиеся толщи, зоны вечной мерзлоты, археологические объекты) дано в соответствующей главе диссертационной работы.

Глава 3. Моделирование данных сейсморазведки и электротомографии на целевых объектах

Моделирование проводится с целью выработки методики для проведения сейсморазведочных и электроразведочных работ в различных условиях.

В данной главе приведены результаты моделирования для различных целевых объектов. Сведения об общем строении вмещающих разрезов взяты из геологических справочников и отчетов по ранее выполненным изысканиям.

Карст и суффозионные процессы

На первоначальном этапе была построена исходная модель среды. Карст рассматривался в нескольких вариантах: (1) полость, заполненная суффозионным материалом, и (2) незаполненная полость (рисунок 1). Путем решения прямой задачи были получены распределение кажущихся сопротивлений (КС), волновые поля отраженных и преломленных волн; далее в ходе решения обратной задачи восстановлены скоростные модели среды и построены геоэлектрические разрезы (рисунки 2 - 3).

Результаты показывают высокую сходимость исходных модельных и восстановленных данных. Следует заметить, что в некоторых случаях (например, при большой глубине залегания нижней кромки аномалии) необходимо увеличение длины профилей и шага наблюдений для компенсации граничных эффектов. Несмотря на это, видно, что использование сейсморазведки МОВ/МПВ и ЭТ высокоэффективно для решения подобного рода задач.

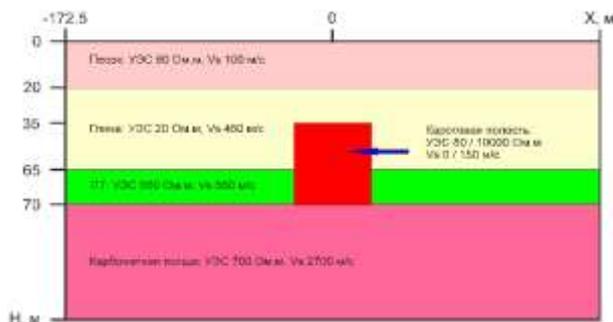


Рисунок 1 – Исходная модель с карстом

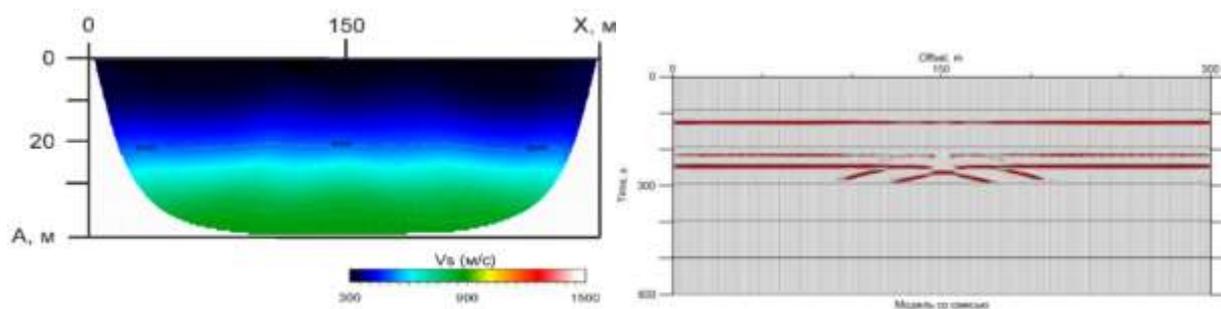


Рисунок 2 – Восстановленная скоростная модель среды для заполненной полости (слева) и временной разрез ОГТ— (справа)

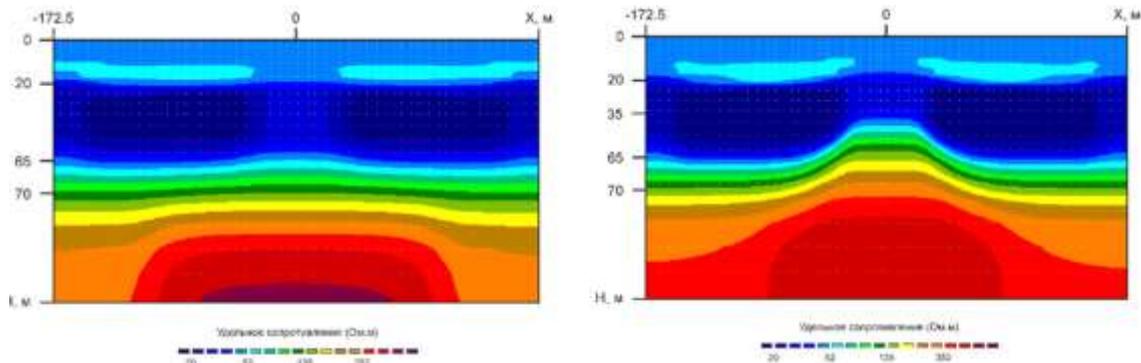


Рисунок 3 – Восстановленная геоэлектрическая модель среды для заполненной полости (слева) и пустотной полости (справа)

Оползневые и обвальные процессы

На основе сведений о типичных свойствах указанных процессов были построены и наполнены физическими свойствами исходные модели (например, модель обвальных процессов – рисунок 4). Путем решения прямой задачи были получены распределение КС, волновые поля отраженных и преломленных волн; далее в ходе решения обратной задачи восстановлены скоростные модели среды и построены геоэлектрические разрезы (рисунок 5). Отмечается, что применение сейсморазведки для изучения оползней может быть малоэффективным. При этом анализ моделей геоэлектрики показывает высокую сходимость результатов эксперимента с исходной моделью: геометрические размеры тел и физические свойства восстанавливаются с погрешность в пределах 10–15%.

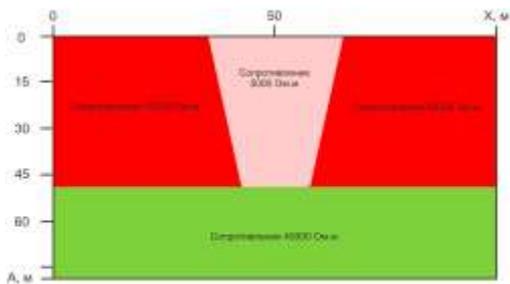


Рисунок 4 – Исходная модель, заданная на основе геологической и литологической информации

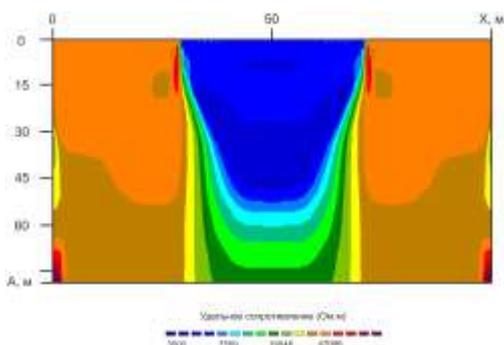


Рисунок 5 – Восстановленная модель среды (геоэлектрический разрез, полученный путем решения обратной задачи)

Многолетнемерзлые породы

Сбор априорной информации, а также результаты практических исследований, проведенных ранее, позволили создать целый ряд моделей, с которыми подробно можно ознакомиться в соответствующей главе диссертационной работы и статьях автора (Сергеев К.С. и др., 2015 [3, 4, 6]).

При изучении моделей электротомографии дополнительно были проведены эксперименты с использованием только верхних двух пластов КП (пески и глины), в которые были включены различного рода аномалии: скважины и зона растепления, образовавшаяся из-за их работы; а также ММП (рисунок 6).

На восстановленных разрезах (рисунок 7) прослеживаются оба пласта, которые изначально заложены в модель КП. При наличии аномалий на модельных разрезах появляются зоны высоких и низких сопротивлений. Аномалии от низкоомных тел уверенно выделяются на разрезах.

Данные разрезы довольно детально описывают геологическую картину исходных моделей. Правый разрез имеет сложное строение, однако стоит заметить, что общий вид (контур) аномалий, их пространственное положение и размеры восстанавливаются однозначно. В зоне растепления присутствует ложное высокоомное тело, которое возникает из-за некорректности решения обратной задачи (является артефактом инверсии). Таким образом, видно, что, несмотря на сложное строение моделей (наличие контрастных аномалий различного размера) ЭТ способна решить поставленную задачу с высокой достоверностью.

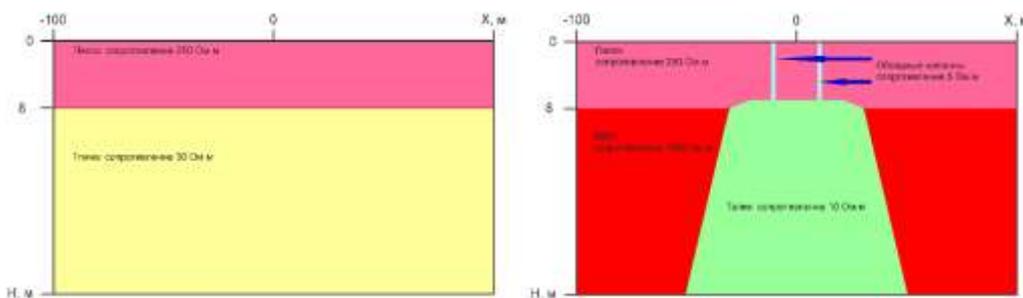


Рисунок 6 – Исходная модель среды без аномалий (слева) и с аномалиеобразующими объектами (справа)

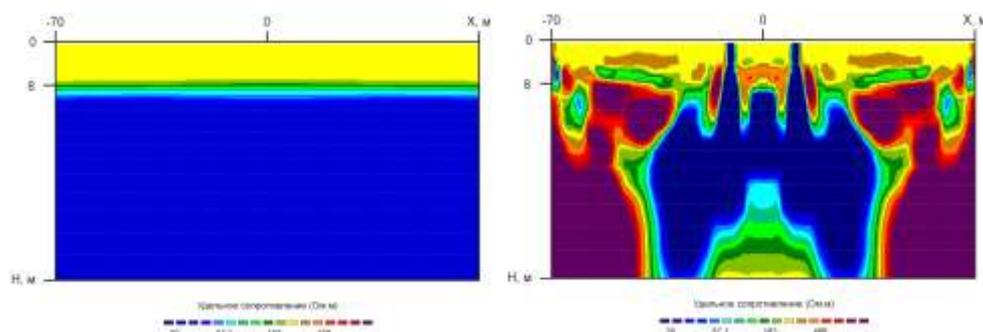


Рисунок 7 – Восстановленные путем решения обратной задачи модели среды: для исходной модели (слева), для модели с аномалиеобразующими объектами (справа)

Глава 4. Проектирование комплекса методов малоуглубинной геофизики в различных физико-геологических условиях

Проектирование методики исследований – начальная и базовая часть выполнения любого геофизического проекта. В связи с широким кругом стоящих перед малоуглубинной геофизикой задач и их сложностью необходимо применение максимально эффективных методик и методов, которые позволят достичь поставленных целей и получить достоверную геолого-геофизическую информацию при минимальных рисках и оптимальных затратах на производство работ.

Нами разработана схема выбора методики, показывающая различные этапы, которые должны учитываться перед началом работ и во время их проведения для достижения оптимального результата (рисунок 8). В основу схемы положен опыт работ лаборатории инженерной геофизики на различных объектах с применением наиболее широкого комплекса доступных методов, в том числе и результаты, представленные в данной работе.

Конкретные задачи, стоящие перед работами, требуемые виды отчетных материалов во многом определяют возможности применения различных методов малоуглубинной геофизики.

На этапе 1 при формировании комплекса исследований необходимо вначале определить и конкретизировать конечные цели и задачи работ.

На следующем этапе (этап 2) проводится сбор сведений об общем геологическом строении района работ (подэтап 2.1) (априорная геологическая информация, литология, сведения о бурении и изысканиях прошлых лет).

В случае необходимости исследования опасных зон, оконтуривания аномалий, изучения ОГП необходимо параллельно с подэтапом 2.1 собрать сведения о данных процессах, их природе и физико-геологических свойствах (подэтап 2.2). Такой подход позволяет выявить все особенности, детали и характерные признаки, которые оказывают влияние на структуру геофизических полей.

Обобщив информацию, собранную на предыдущем этапе, необходимо построить общую (фоновую, вмещающую) модель и модель с предполагаемыми аномалиями (этап 3). Построение данной модели необходимо для первоначального этапа отбора и апробации методов, которые рекомендуются к применению для решения поставленных целей и задач. Основная задача данного этапа – геометризация модели.

Следующим этапом (этап 4) необходимо наполнить структурную модель различными физическими свойствами (в зависимости от геологии и физических свойств пород или аномалий): скоростями и плотностями, удельными электрическими сопротивлениями, пористостью, проводимостью и так далее.

По набору структурных моделей, наделенных физическими свойствами, проводится оценка возможностей выбранных методов (этап 5).

Данная процедура происходит на основе решения прямой задачи геофизики для каждого из выбранных методов средствами математического моделирования (этап 6).

Далее следует установить вид, характер и изменчивость соответствующего геофизического поля. При этом особое внимание необходимо уделить заданию граничных условий. Рекомендуется выполнять моделирование для целого набора моделей с перебором их латеральных и вертикальных размеров, соответствующих априорным представлениям об исследуемом объекте.

Затем оценивается эффективность метода (этап 7) на основе решения обратной задачи. Критерием эффективности выступают минимизация погрешности восстановления фоновой модели и ее аномальной части при максимальном контрасте физических свойств, формирующих геофизическое поле. Также исследуется устойчивость методики к внешним шумам и неполноте данных. По результатам данного этапа формируется список методов, которые целесообразно применять во время исследований.

Исходя из оценки эффективности, на этапе 8 выбираются параметры систем наблюдения для каждого метода (длина активной расстановки, шаг по ПП и ПВ, тип волн, шаг по электродам, тип электроразведочной установки, плотность съемки и т.д.). Стоит отметить, что на этапе опытно-методических полевых работ (ОМР) данные параметры могут быть скорректированы с учетом особенностей местности.

Выбранные методы реализуются в полевых условиях (этап 9).

Полученные материалы обрабатываются и интерпретируются (этап 10).

На каждом этапе работ отмечается степень совпадения данных с априорными модельными представлениями, в случае расхождения - итерационно проводится корректировка моделей для отображения зарегистрированных эффектов и аномалий. Для каждого из выбранных методов проводится оценка достоверности на основе моделирования, полевых результатов и комплексной интерпретации.

Таким образом, еще до момента мобилизации полевой партии, проведения работ и камеральной части, можно понять и проанализировать основные нюансы и сложности проекта.

Это позволяет построить и скорректировать геологические модели, детально изучить интересующие объекты, заверить особо опасные участки и зоны, минимизировать временные и финансовые затраты на выполнение проекта.

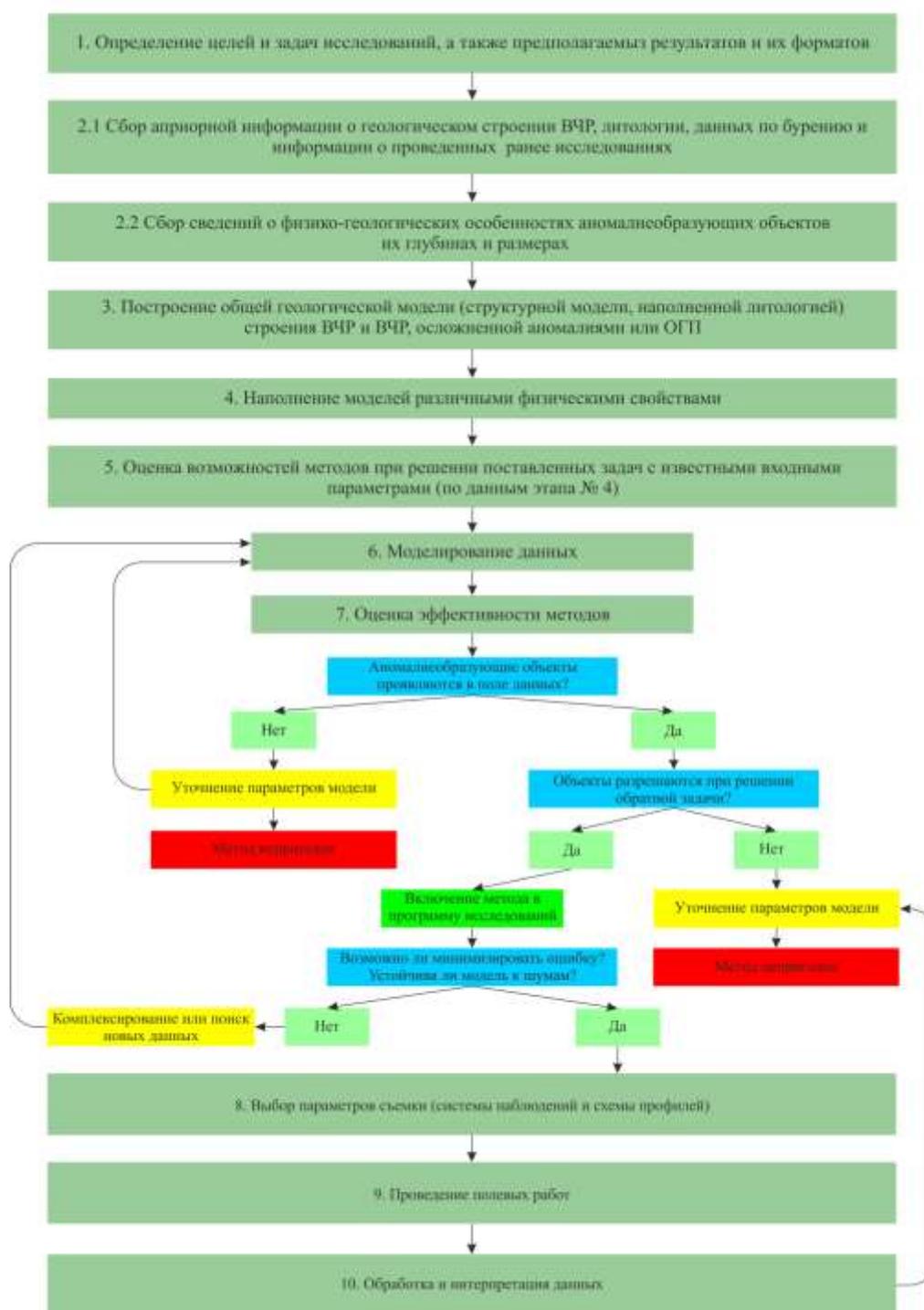


Рисунок 8 – Блок-схема методики проектирования исследований

Хотелось бы заметить, что, несмотря на наличие и использование результатов данной методики, для минимизации рисков, на подготовительном этапе (перед проведением полноценных полевых работ) всегда необходимо проводить ОМР. Это обусловлено тем, что в некоторых ситуациях невозможно полноценно учесть все тонкости и нюансы проекта. Даже при самых точных модельных расчетах особенности строения ВЧР, наличие помех техногенного характера, геометрическая ограниченность площадки работ и многое другое могут помешать зарегистрировать

кондиционные данные, без которых, в свою очередь, невозможно построить достоверную геолого-геофизическую модель.

По нашему опыту на этапе «быстрой разведки» (ОМР) основное внимание следует уделить электротомографии, которая позволяет в короткие сроки с минимальными временными и финансовыми затратами провести первоначальную геофизическую разведку площадки работ и сделать предварительную оценку эффективности различных методов.

В главе 5 представлены этапы реализации данной методики на разных объектах в различных условиях местности.

Глава 5. Практическое применение методов малоуглубинной геофизики в различных физико-геологических условиях и комплексирование данных

В настоящей главе приведены примеры выполненных лабораторией инженерной геофизики РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина работ при непосредственном участии и под руководством автора. Демонстрируется применение методики, разработанной в главе 4.

Изучение карстовых процессов

На этапе практической апробации были изучены несколько активно развивающихся карстовых толщ в Нижегородской области. Результаты полевых экспериментов подтверждают теоретические аспекты и данные моделирования, описанные выше. На рисунке 9 представлен геоэлектрический разрез с выделенными зонами: красные пунктирные линии – современный провал, красный пунктирный прямоугольник – прогнозируемый провал. На рисунке 10 изображена скоростная модель по данному профилю, на которой также выделяется современный провал.

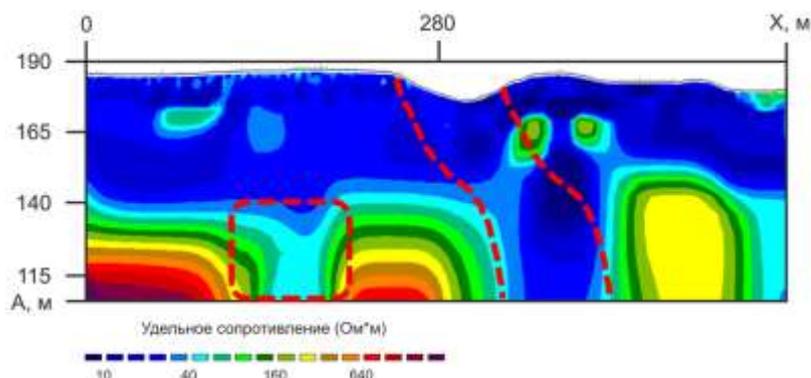


Рисунок 9 – Разрез УЭС с выделенным современным провалом (красные пунктирные линии) и прогнозируемым провалом (красный пунктирный прямоугольник)

В зоне прогнозируемого провала было проведено бурение, подтвердившее область активного разрушения карбонатной толщи, заполненной суффозионным материалом.

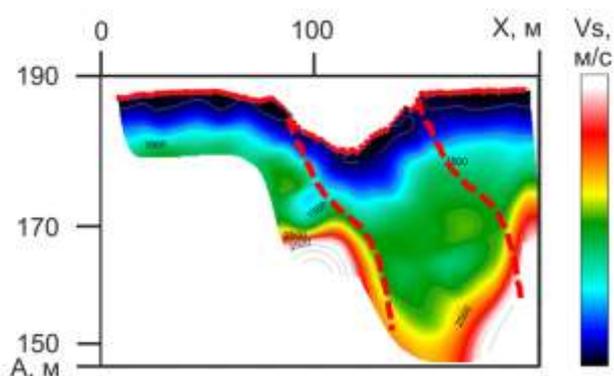


Рисунок 10 – Скоростная модель среды с выделенным современным провалом (красные пунктирные линии)

Изучение оползневых процессов

Моделирование показало эффективность электротомографии для изучения оползневых процессов, поэтому метод был применен при исследовании состояния бортов карьера золоторудного месторождения в районе Дальнего Востока. Извлечение золота осуществляется из гранодиоритов. Система современных пересекающихся трещин делит борта карьера на отдельные блоки, при разработке которых возникает опасность вывала стенок.

В результате обработки данных были получены геоэлектрические разрезы, интерпретация которых позволила выделить трещины и их простирание, а также аномальные зоны с высокой влагонасыщенностью (рисунок 11).

Результат эксперимента показывает целесообразность и эффективность применения предложенной методики для изучения оползневых процессов.

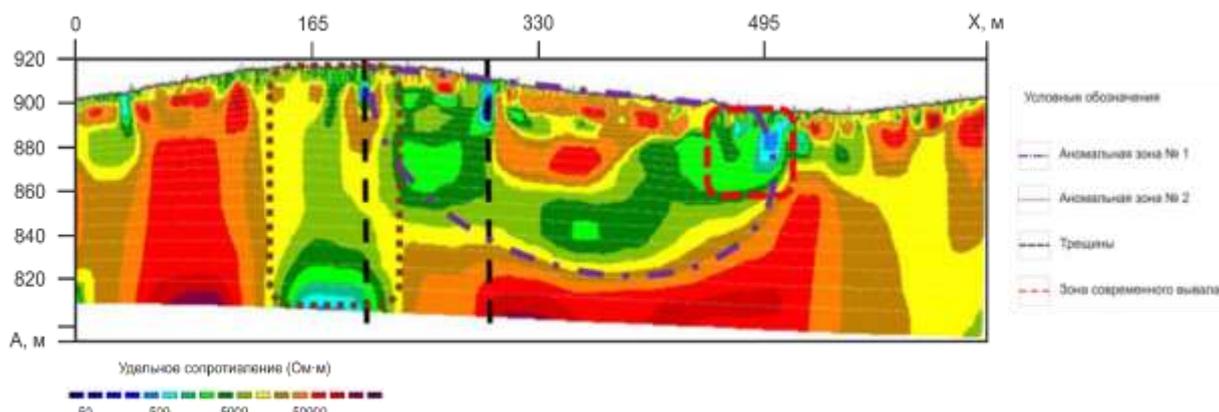


Рисунок 11 – Геоэлектрический разрез, полученный на карьере

Изучение многолетнемерзлых пород (ММП) и зон растепления

При проведении работ были учтены различные особенности ММП и таликов, а также физические ограничения методов. Система наблюдений для сейсморазведки была спроектирована таким образом, чтобы обеспечить необходимый набор данных как для МПВ, так и для МОГТ 2D.

Также следует отметить, что во время проведения работ использовалась экспресс-обработка данных для контроля качества и оптимизации сети профилей. Данный подход был необходим, чтобы

максимально эффективно выделить наиболее ярко проявляющиеся зоны растепления. На рисунке 12 изображена схема профилей на КП и скоростная модель среды по данным МПВ с выделенной зоной растепления (черный пунктирный овал). На геоэлектрическом разрезе (рисунок 13) также выделяется зона растепления (красная пунктирная линия).

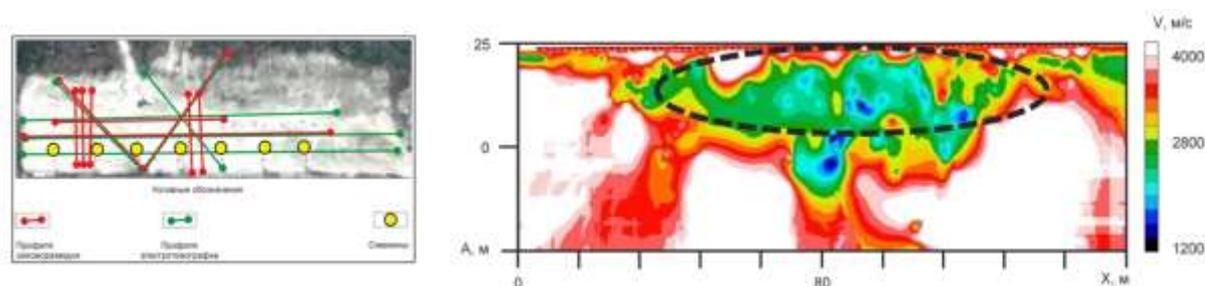


Рисунок 12 – Схема профилей (слева) и скоростная модель среды (справа). Черный пунктирный овал – зона растепления

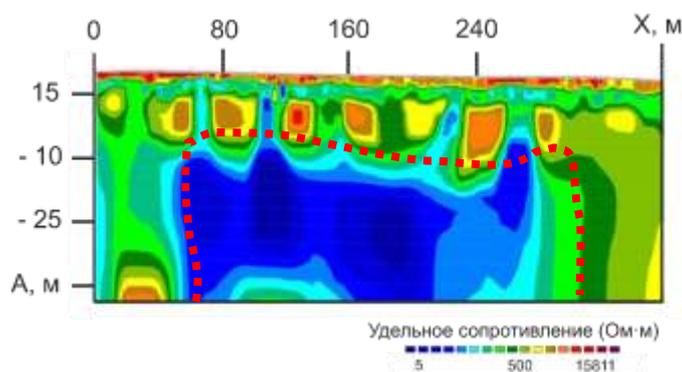


Рисунок 13 – Геоэлектрический разрез

Результатом обработки и интерпретации данных МОГТ стали временные сейсмические разрезы с нанесенными кровлей и подошвой талика, выделение которых основывалось на изменении характера волновой картины. Пример одного из разрезов приведен на рисунке 14.

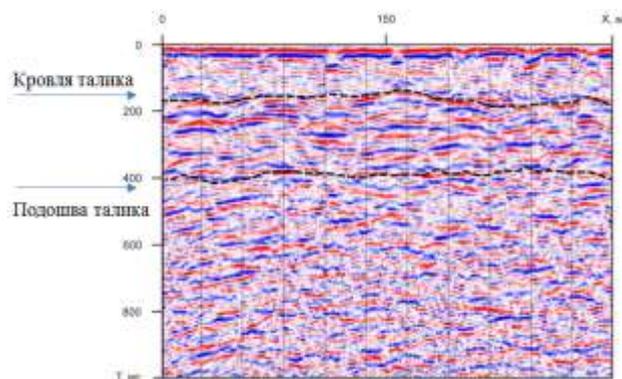


Рисунок 14 – Выделение талика на временных сейсмических разрезах МОГТ

На основании проведенных исследований, подтверждающих целесообразность и актуальность комплексирования данных, следует отметить несколько ключевых особенностей, которые следует учитывать при проектировании работ:

1. Однозначное выделение зон и границ ММП возможно лишь на основании комплексирования методов;

2. Необходимо проектирование сети наблюдений и ее уточнение во время проведения работ, поскольку ММП и талики имеют довольно сложную форму и локализацию;
3. При проведении работ особое внимание необходимо уделять изучению межскважинного пространства;
4. Электротомография позволяет быстро и эффективно исследовать тело песчаной насыпи КП на предмет однородности ее строения.

Заключение

Проведенные исследования показали эффективность разработанной методики на основе ее практического применения в различных физико-геологических условиях для повышения достоверности геологического прогноза. Рассмотренные примеры работ, проведенных на целевых объектах, наглядно доказывают объективность данного подхода на всех стадиях изысканий.

На основе теоретического исследования и практического применения доказана необходимость использования методов математического моделирования при решении прямой и обратной задачи на этапе проектирования работ для выработки оптимального комплекса исследований, который позволит повысить достоверность геолого-геофизических моделей.

Рассмотрена и обоснована необходимость качественной и количественной интерпретации результатов для надежного и уверенного построения геологических моделей по данным разведочной геофизики, которые подтверждаются разведочным заверочным бурением.

Объектно-ориентированный подход к каждому проекту позволяет сократить объемы разведочного бурения без потери качества, что в свою очередь, способствует минимизации временных и финансовых затрат с сохранением высокой достоверности геологического прогноза.

Данная методика исследований успешно применяется на различных объектах автором работы и коллективом лаборатории инженерной геофизики РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в ведущих изданиях согласно перечню ВАК

1. Сергеев К.С., Белоусов А.В. Об отображении многолетнемерзлых пород в двумерных моделях геоэлектрики // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6.
2. Белоусов А.В., Сергеев К.С., Сафиуллин Р.И. Возможности обработки различных типов волн, регистрируемых в инженерной сейсморазведке // Приборы и системы разведочной геофизики. 2014. № 1. С. 86-93.
3. Сергеев К.С., Рыжков В.И., Белоусов А.В., Бобачев А.А., Сафиуллин Р.И. Изучение многолетнемерзлых пород с использованием комплекса методов инженерной геофизики (на примере кустовой площадки нефтегазоконденсатного месторождения в Западной Сибири) // Инженерные изыскания. 2015. № 10-11. С. 46-53.

Публикации в других изданиях и доклады на конференциях

4. Сергеев К.С., Рыжков В.И., Белоусов А.В., Бобачев А.А. Проявление многолетнемерзлых пород на волновых полях различных методов инженерной геофизики на примере кустовой площадки месторождения Западной Сибири // Инженерная, угольная и рудная геофизика - 2015. Современное состояние и перспективы развития (28 сентября - 2 октября 2015 г.). - Сочи, ЕАГО. 2015
5. Сергеев К.С., Горин А.Д., Новиков В.В., Каинов С.Ю. Применение методов инженерной геофизики при изучении Гнездовского археологического комплекса // Инженерная, угольная и рудная геофизика - 2015. Современное состояние и перспективы развития (28 сентября - 2 октября 2015 г.). - Сочи, ЕАГО. 2015
6. Сергеев К.С., Бобачев А.А., Белоусов А.В. Изучение многолетнемерзлых пород комплексом методов инженерной геофизики на примере кустовой площадки месторождения Западной Сибири // Инженерная геофизика - 2015 (20-24 апреля 2015 г.). - Геленджик, EAGE. 2015
7. Рыжков В.И., Белоусов А.В., Бобачев А.А., Сергеев К.С., Плотников М.В. Комплексирование электротомографии и сейсморазведки для исследования зон растепления в условиях вечной мерзлоты // Арктика - Нефть и газ 2015 (21-23 апреля 2015 г.). - Москва, ИПНГ РАН. 2015
8. Рыжков В.И., Рослов Ю.В., Сергеев К.С., Половков В.В., Елистратов А.В. Инженерные изыскания по методике донной бескабельной сейсморазведки // Инженерная геофизика - 2015 (20-24 апреля 2015 г.). - Геленджик, EAGE. 2015

9. Бобачев А.А., Сергеев К.С. СКВАЖИННАЯ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ // Инженерная, угольная и рудная геофизика - 2015. Современное состояние и перспективы развития (28 сентября - 2 октября 2015 г.). - Сочи, ЕАГО. 2015
10. Белоусов А.В., Сергеев К.С. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ // Теория и практика разведочной и промышленной геофизики: материалы международной научн.-практ. конф. (26-27 ноября 2015 г) / гл.ред. В.И. Костицын. - Пермь, Пермский гос.нац.исслед.ун-т, 2015.
11. Бобачев А.А., Сергеев К.С. Электротомографические методики при геофизических исследованиях скважин // Тезисы докладов 12-й конференции и выставки EAGE "Инженерная геофизика-2016" (25 апреля 2016 г.). Анапа. 2016.
12. Бобачев А.А., Сергеев К.С., Рыжков В.И., Белоусов А.В. Изучение карстовых процессов и оползней сейсморазведкой и электротомографией // Тезисы докладов 12-й конференции и выставки EAGE "Инженерная геофизика-2016" (25 апреля 2016 г.). Анапа. 2016.
13. Бобачев А.А., Сергеев К.С., Рыжков В.И., Белоусов А.В. Комплексирование данных сейсморазведки и электротомографии на геофизическом полигоне МГУ "Александровка" // Тезисы докладов 12-й конференции и выставки EAGE "Инженерная геофизика-2016" (25 апреля 2016 г.). Анапа. 2016.
14. Рыжков В.И., Белоусов А.В., Сергеев К.С., Горин А.Д., Новиков В.В., Каинов С.Ю. Применение электротомографии при изучении курганов центральной курганной группы Гнездовского археологического комплекса // Приборы и системы разведочной геофизики. 2017. №2. С. 58-63.