

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Карина Юрия Григорьевича «Экспресс методика построения моделей для оценки объемов вещества хвостохранилищ по данным электротомографии, электромагнитного профилирования и аэрофотосъемки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика.

Диссертация Ю.Г. Карина посвящена развитию методического обеспечения для решения задач охраны окружающей среды, которые включают оценку количества и объема полезных и потенциально токсичных веществ хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов (ГОК).

Актуальность темы заключается в отсутствии научно обоснованной методологии совместного применения геофизических и геохимических методов для оценки объема и количества веществ хвостохранилищ ГОК, а также картирования путей миграции опасных веществ и связи состава отходов с их УЭС.

Разработка методики совместного применения методов аэрофотосъемки, электроразведки (электромагнитное профилирование (ЭМП) и электротомография (ЭТ)) и геохимического опробования позволит использовать преимущества каждого из них для создания современного и эффективного инструмента оценки объема и количества веществ хвостохранилищ ГОК.

Целью своих исследований Ю.Г. Карин обозначил развитие методического обеспечения для решения задач охраны окружающей среды, которые включают оценку количества и объема полезных и потенциально токсичных веществ хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов, за счет комплексного применения электротомографии и электромагнитного профилирования, совместно с результатами геохимического опробования и аэрофотосъемкой.

Диссертант поставил перед собой **задачу** разработки методики совместного применения и обработки результатов измерения комплексом методов (электромагнитного профилирования, электротомографии, результатов геохимического опробования и аэрофотосъемки) при построении геоэлектрических и структурных моделей хвостохранилища для оценки объема вещества отходов.

Структура и содержание работы: диссертация состоит из введения, трех глав и заключения общим объемом 89 страниц, содержит 46 рисунков и 4 таблицы. Список цитируемой литературы включает 100 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и научная задача исследования, перечислены защищаемые научные результаты, показана их новизна, определена научная и практическая ценность.

Первая глава является обзорной частью работы, в которой представлен аналитический обзор известных разработок и их особенностей, различные подходы к изучению хвостохранилищ, проанализированы результаты применения геофизических методов (ЭМП, ВЭЗ, ЭТ, георадар и др.) при исследовании техногенных объектов и сделаны выводы о возможностях развития применяемых подходов для решения экологических задач. Приведен весьма интересный обзор применения аэрофотосъемки для решения задач экологии.

Глава написана чётким, лаконичным и понятным языком, хорошо проиллюстрирована и даёт достаточно полные представления о предметной области.

Во второй главе описаны выбранные методы исследования хвостохранилищ и программное обеспечение для обработки данных. Детально описаны методы

электромагнитного профилирования, электротомографии. Примечательно, что выбрана аппаратура отечественного производства, позволяющая с высоким качеством решать все поставленные задачи. Кратко описано использованное программное обеспечение для обработки и интерпретации материалов электроразведки. Описана методика пробоотбора и пробоподготовки. Приведена информация о методике аэрофотосъемки. В целом, представленной в главе информации вполне хватает для формирования представления об аппаратуре и программном обеспечении, задействованных в проведенных исследованиях.

В третьей главе представлены результаты проведенных исследований – геоэлектрические и структурные модели четырех хвостохранилищ различных типов.

Первый раздел главы посвящен хранилищу насыпного типа – Белоключевскому отвалу. Приведены общие сведения о размерах объекта, система наблюдений (электроразведка и геохимическое опробование), карта распределения УЭС по данным ЭМП, геоэлектрические разрезы, трехмерная геоэлектрическая модель участка, а также структурные модели насыпного хвостохранилища, выявлена зона дренирования высокоминерализованных отходов под дневной поверхностью. Приведены результаты геохимического опробования, включая данные площадных наблюдений, а также коэффициенты корреляции различных параметров среды. Сделаны выводы, что объем отходов с УЭС до 20 Ом·м составил 2100 м³ для участка хвостохранилища по данным ЭТ, а площадь предполагаемого канала фильтрации 1000 м².

Второй раздел главы посвящен хвостохранилищу руслового типа – «Талмовские пески». Структура полученных результатов аналогична предыдущему разделу. Приведены результаты двумерной инверсии данных электротомографии, а также одномерной инверсии данных ЭМП. По усредненным количествам веществ на 1 м³, определенным в результате геохимического опробования шурфов, установлено содержание потенциально полезных и опасных веществ в отходах. Автор делает вывод, что одномерная инверсия данных ЭМП позволяет получить геоэлектрическую модель изучаемого объекта, близкую к модели по данным ЭТ, и предполагает, что ЭМП может иметь большую эффективность (производственную, экономическую) при решении поставленных задач.

Третий раздел главы посвящен хвостохранилищу «Дюков лог» (смешанный тип). Структура полученных результатов аналогична предыдущему разделу, за исключением того, что не приведены оценки объема отходов. Автор приходит к выводу, что комплексное применение электротомографии и результатов геохимического опробования позволяют оценить изменение состава твердого вещества и водных вытяжек на глубину.

Заключительный, четвертый раздел главы посвящен хвостохранилищу «Комсомольский гидроотвал». Структура полученных результатов аналогично первому разделу. Автор приходит к выводам, что оконтуривание хвостохранилища возможно производить с помощью метода ЭМП, а детальное расчленение разреза по вертикали и латерали методом электротомографии. Оценки объема отходов не приведены.

Далее следует раздел, раскрывающий подход к обработке данных электротомографии на примере результатов исследования хвостохранилища «Комсомольский гидроотвал». Автор обозначил проблему, заключающуюся в том, что автоматическая двумерная инверсия не всегда позволяет получить геоэлектрическую модель, согласующуюся с данными бурения или шурфовки. Указано, что, когда результат автоматической инверсии неудовлетворителен, но требуется двумерное или же трехмерное представление изучаемой среды, можно прибегнуть к инверсии с ограничениями - учесть при двумерной инверсии определенные границы, полученные из априорной информации. Приведен кросс-плот сопоставления УЭС по данным резистивиметра и электротомографии, а также полученная стартовая геоэлектрическая модель. Приведены геоэлектрические модели, построенные с учетом границ, полученных с помощью одномерной инверсии, а также результаты структурной интерпретации.

В следующем разделе главы представлено описание методики построения структурных моделей для оценки объемов отходов ГОК на основе результатов исследования хвостохранилищ разных типов. Методика состоит из 7 основных блоков, являющихся последовательными этапами исследования техногенных объектов. Автор также указывает, что переход к объему и массе конкретного вещества или химического элемента (золота или мышьяка) возможен, когда известно его усредненное количество на один кубический метр вещества отвала, эта информация получается по данным о химическом составе вещества, определенным в результате исследования образцов отходов в лаборатории.

По сути, данный раздел содержит структурированную методику совместного применения геофизических и геохимических методов для оценки объема и количества веществ хвостохранилищ ГОК, а также картирования путей миграции опасных веществ и связи состава отходов с их УЭС – **основной защищаемый научный результат Автора**.

В следующем разделе приведены результаты апробации методики построения моделей для оценки объемов отходов ГОК на хвостохранилище «Белоключевской отвал». По результатам применения предложенной методики автором рассчитано количество отходов в теле отвала по данным двух методов: электротомографии (для участка отвала) и аэрофотосъемки.

В **заключении** к диссертационной работе автор наглядно и четко систематизировал результаты исследований, изложив их в выводах.

В ходе анализа материалов, представленных в диссертационной работе, у оппонента возник ряд вопросов и замечаний:

1. Работа посвящена комплексированию геофизических и геохимических методов. Вместе с тем, комплексирование следует выполнять на основании сформированной физико-геологической модели (ФГМ) объекта исследования. По [Вахромеев, Давыденко, 1989], ФГМ представляет собой совокупность данных о комплексе геологических, геохимических и геофизических характеристик, аппроксимирующих изучаемый объект, вмещающий его среду и порождаемые ими физические поля с детальностью, соответствующей поставленным геологическим задачам. Оппонент считает, что приведенные в диссертационной работе результаты должны базироваться на ФГМ, построенной для типовой модели хвостохранилища (либо нескольких типов, если между ними есть существенные отличия). На основании выбранной ФГМ должен быть обоснован комплекс геофизических и геохимических методов, являющихся эффективным инструментом для решения поставленной геологической задачи. В отсутствие построенной ФГМ объекта исследований неясно, на каком основании Автор выбрал именно этот комплекс методов исследования. Ведь можно также применять магниторазведку (зачастую в хвостохранилищах имеют место локальные магнитные аномалии), сейсморазведку и гравиразведку (плотность, как и скорости продольных волн, «хвоста» и неизменных пород могут значительно отличаться). Более того, в некоторых работах (Сидоров И.К. Ограничения электроразведочных методов в условиях Крайнего Севера // Геофизика. – 2019. – № 4. – С. 41–47; Васильев П.Р., Николаева А.С. Особенности геофизических исследований в криолитозоне // Вестник МГУ. Серия геологическая. – 2021. – № 3. – С. 22–30) приведены отрицательные результаты применения комплекса электротомографии и геохимического опробования при оценке объемов отходов ввиду наличия геологических и негеологических помех, неоптимальной сети геохимического опробования и отсутствия данных бурения скважин.

2. С точки зрения оформления текста диссертации, непонятно, почему не все подзаголовки пронумерованы (использован только второй уровень нумерации, остальные уровни не имеют нумерации вовсе). В оглавлении – в разделе «введение» - представлены 11 подразделов, тогда как можно было обойтись просто «введением».
3. В разделе «Фактический материал» указано, что геоэлектрические модели, полученные в результате исследования, верифицировались прямыми измерениями УЭС вещества отходов в шурфах. При этом, не приведено ни одной литологической колонки/описания шурфа с сопоставлением УЭС по результатам прямых измерений и полученных в ходе инверсии материалов электроразведки. Имеет место лишь один кросс-плот сопоставления УЭС по данным резистивиметра и электротомографии, хотя исследования проводились на четырех хвостохранилищах, что вполне достаточно для сбора статистики таких измерений.
4. При интерпретации данных электроразведки Автор использовал цифровые модели рельефа (ЦМР), полученные по результатам аэрофотосъемки. Какова точность таких ЦМР и достаточна ли она для решения поставленных задач?
5. Обращает на себя внимание низкое качество иллюстраций – в первую очередь, ортофотопланов. Визуально, космоснимки открытого доступа характеризуются более высокой детальностью, нежели приведенные ортофотопланы. Зачастую подписи рисунков неинформативны или не вполне соответствуют тому, что на них изображено (к примеру, на рис. 5 показан космоснимок или ортофотоплан с увеличенным фрагментом контура работ, а подзаголовок гласит «Белоключевской отвал, пос. Урск Кемеровской области»).
6. Также отсутствует принцип единства оформления схожих иллюстраций. К примеру, для объекта «Талмовские пески» на рис. 16 сверху приведена векторная схема (?) района работ с очень мелким фрагментом расположения профилей 2012 г., а внизу приведен космоснимок (ортофотоплан?) с положением профилей 2019 г. При этом, иллюстрация должна была быть разделена на «А» и «Б» вместо того, чтобы показывать разнородные данные все вместе. В итоге, визуально крайне сложно сравнить положение профилей 2012 и 2019 гг. Почему нельзя было сделать одну иллюстрацию и вынести профили разных лет, выделив их разными цветами? Иначе читателю очень непросто разобраться в расположении сетей наблюдений на объекте.
7. Автор заявляет, что данные ЭМП используются, в частности, для оптимизации системы наблюдений геохимического опробования. Вместе с тем, на рис. 6 контур ЭМП полностью совпадает с положением точек геохимического опробования, размещенных практически по регулярной сети. Для других хвостохранилищ такие схемы отсутствуют и невозможно понять, была ли по факту оптимизирована сеть геохимического опробования, и как она в итоге выглядела.
8. Неясно, из каких соображений выбиралась сеть наблюдений ЭМП на Белоключевском отвале, т.к. она неравномерна, и на карте УЭС (рис. 7) видны зоны интерполяции аномалий с далеко расположенных профилей.
9. Не вполне понятно, по данным ЭМП представлены карты кажущегося сопротивления или УЭС – результатов инверсии?
10. Зачастую приведены геоэлектрические разрезы, на которых не указано, получены ли они по результатам ЭМП или ЭТ (к примеру, рис. 9). Кроме того, по тексту

ссылаются на границы (изолинии) определенного УЭС, однако на разрезах они никак не отмечены, что затрудняет их анализ. То же касается и каналов фильтрации растворов, о которых идет речь в тексте, но на рисунках они не показаны (например, рис. 10).

11. На рис. 9 показана аномалия низкого УЭС, отмеченная знаком «?». С чем она связана? Если аномалия не связана с техногенным отвалом, то можно ли утверждать, что остальные схожие аномалии пониженного УЭС связаны с «хвостами» отвалов?
12. Основной вопрос связан с выбором граничных уровней УЭС, с которым связываются границы техногенных отвалов и неизменных пород (естественный грунт). К примеру, на стр. 38 указано ««изоповерхность желтого цвета ограничивает объем среды с удельным электросопротивлением 20 Ом·м, вещества с большим сопротивлением на модели специально выполнены прозрачными, что бы можно было визуальное оценить отношение объемов веществ с разным УЭС. Объем веществ с сопротивлением менее 20 Ом·м составляет 2126 кубических метров». На каком основании принята граница именно 20 Ом·м? Аналогично, на стр. 47 указано «По данным электротомографии мощность насыщенных высокоминерализованными флюидами пород (сопротивление до 50 Ом·м) достигает 13 - 15 метров к концу профиля». Почему именно 50 Ом·м? Данное замечание справедливо для всех четырех рассмотренных хвостохранилищ. Выбор граничного уровня должен быть обоснован по результатам сопоставления УЭС, определенных по данным прямых измерений (в шурфах) и наземной электроразведки для различных литотипов. Например, в виде кросс-плотов для каждого рассмотренного хвостохранилища. Выбор граничного уровня УЭС напрямую влияет на оценку объема отходов (положение подошвы), поэтому его обоснование крайне важно.
13. Для Белоключевского отвала (стр. 40) указано: «Максимальная мощность отходов не превышает 10 метров. Отсутствует водоупорный горизонт под толщей складированного материала. В результате атмосферные осадки, прошедшие слой отходов, насыщаются потенциально опасными веществами и дренируются ниже по склону. Область дренирования в поперечном сечении имеет площадь около 1000 м²». Если флюидоупор отсутствует, то почему сформировалась линза? Чем ограничена её подошва, учитывая, что растворы ниже по разрезу, по всей видимости, не распространяются (рис. 14)?
14. На ряде рисунков (к примеру, рис. 21, 32, 33, 35-38) шкала УЭС приведена в арифметическом масштабе, что неверно, т.к. УЭС распределено логнормально. Кроме того, на шкале присутствует значение «0 Ом·м», чего физически быть не может. К примеру, что на рис. 21 слой горных пород на глубине 1 м, в соответствии с цветовой заливкой разреза, имеет УЭС 0 Ом·м.
15. На рис. 23 показаны 2 профиля (структурная интерпретация данных ЭТ), однако не указаны их номера.
16. В таблице 3 имеет место неоднозначность. В заголовке строки указано «Масса, кг», тогда как в некоторых столбцах (к примеру, Al), указано «1 т». Единицы измерения должны быть едины.
17. Что означают цвета слоёв в стартовой геоэлектрической модели (рис. 40)? Как они связаны с литотипами, рассмотренными ранее на кросс-плоте рис. 39? Если

верхний слой модели – это дерн, то на каком основании в геоэлектрической модели его УЭС изменяется в пределах 20-30 Ом·м, если на кросс-плоте этот диапазон составляет 5-26 Ом·м по резистивиметрии и 8-18 Ом·м по ЭТ?

18. Относительно самой методики построения структурных моделей для оценки объемов отходов (раздел 3.5) необходимо отметить, что она хорошо и точно формализована. Вместе с тем, отсутствуют иллюстрации этой последовательности, которые бы дали читателю возможность лучше увидеть визуально каждый шаг предлагаемой методики. Во втором пункте, посвященному ЭМП, указано «На основании карты распределения кажущихся УЭС планируется расположение профилей ЭТ и точек геохимического опробования». Однако такие карты не приведены. К примеру, есть рис. 7 «Карта распределения УЭС по данным ЭМП на Белоключевском отвале». Но на ней не нанесены ни профили ЭТ, ни точки геохимического опробования. Более того, что же всё-таки используется по материалам ЭМП: карта кажущегося сопротивления или УЭС?
19. На стр. 79 в п.3 методики указано «На основании этих моделей вещество хвостохранилища разбивается на отдельные слои и участки. Критерии для разбиения определяются по результатам геохимического опробования». Рецензенту представляется, что было бы полезно перечислить эти критерии, какими они могут быть и от чего зависеть, ведь это напрямую повлияет на оценку объема отходов.
20. В таблице 4 приведены значения количества отходов в теле отвала по данным ЭТ и аэрофотосъемки, с учетом различных площадей проведенной съемки. Не вполне понятно, с какой целью приведена оценка по данным аэрофотосъемки, ведь она выполнена исключительно на основании модели рельефа. Возможно, если преследовали задачу сравнить различные подходы к оценке (с использованием электроразведки и без нее), нужно было сравнить объемы отходов для одной и той же площади?
21. В заключении Автор приводит фразу «Разработанная методика позволяет сократить количество геохимических опробований за счет выделения контрастных по УЭС участков, выявить...». Было бы полезно показать на примере (любом из 4-х рассмотренных хвостохранилищ), как была фактически оптимизирована сеть геохимического опробования. На сколько точек опробования стало меньше? Однако здесь следует учитывать, что сокращение точек геохимического опробования приведет к уменьшению фактического материала, который впоследствии используется для интерпретации материалов электроразведки и участвует в оценке объемов токсичных веществ. Существуют ли оценки минимально достаточного количества точек геохимического опробования для решения поставленной задачи?

Вместе с тем, указанные замечания не имеют критического значения и не умаляют ценности и значимости рассмотренной диссертационной работы.

В ходе своих исследований Карин Юрий Григорьевич получил важные научные результаты – разработал методику совместного применения и обработки результатов измерения комплексом методов (электромагнитного профилирования, электротомографии, результатов геохимического опробования и аэрофотосъемки) при построении геоэлектрических и структурных моделей хвостохранилища для оценки объема вещества отходов. Кроме того, полученные модели могут быть использованы в последующих

исследованиях как непосредственно обозначенных объектов, так и как аналогов при изучении таких объектов по всему миру.

В целом, текст диссертационной работы написан аккуратно, с соблюдением правил и норм русского языка. Хотелось бы отметить высокую квалификацию диссертанта, хорошее знание предметной области.

В основу диссертационной работы положены результаты полевых исследований для четырех хвостохранилищ различного типа формирования – Дюков Лог, Комсомольский гидроотвал, Талмовские пески и Белоключевское хвостохранилище – полученные Автором лично. Таким образом, **личный вклад Ю.Г. Карина в проведение исследований сомнений не вызывает.**

Практическая значимость исследования заключается в разработанной методике, позволяющей оценить объем техногенных хвостохранилищ, что, безусловно, имеет высокую актуальность.

В заключении оппонент считает необходимым отметить следующее:

Диссертационная работа Ю.Г. Карина является актуальной научной разработкой и по содержанию полностью соответствует шифру специальности. Научные результаты и выводы обоснованы, подтверждены результатами полевых и аналитических исследований. **Научная новизна работы, как и ее актуальность, не вызывает сомнений. Оппонент отмечает высокую степень завершенности представленных исследований.**

Содержание диссертации полностью соответствует защищаемому результату.

Результаты, полученные в ходе работы над диссертацией, отражены в 11 публикациях, в том числе 3 из них – в изданиях из списка ВАК. Можно пожелать диссертанту продолжить публикацию результатов не только в отечественных, но и в зарубежных журналах. Работа прошла апробацию на семинарах, совещаниях и конференциях в период с 2012 по 2024 гг.

Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

Диссертационная работа Карина Юрия Григорьевича «Экспресс методика построения моделей для оценки объемов вещества хвостохранилищ по данным электротомографии, электромагнитного профилирования и аэрофотосъемки» отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ и соответствует заявленной специальности (1.6.9 – Геофизика), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент:

Кандидат геолого-минералогических наук,

Буддо Игорь Владимирович

«03» марта 2025

Контактные данные:

Тел: +7-914-929-14-29

E-mail: biv@crust.irk.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Адрес места работы:

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Я, Буддо Игорь Владимирович, даю согласие на обработку моих персональных данных и их использование в документах, связанных с работой диссертационного совета.

И.В. Буддо



Подпись



удостоверяю

М.П.



Подпись	<u>Буддо И.В.</u>	заверяю
Кадрово-правовой отдел Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук		
<u>В.И. Сидорова</u>		
"03"	<u>марта</u>	20 <u>25</u> г.