Министерство образования и науки Украины Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко На правах рукописи Миненко Роман Вадимович УДК 550.831+550.837+550.838+550.681+519.6 ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ И МАГНИТОМЕТРИИ С УТОЧНЯЮЩИМИ ИТЕРАЦИОННЫМИ ПОПРАВКАМИ (на примере руднопоисковых задач) Специальность 04.00.05 – геологическая информатика Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Научный руководитель – Корчагин Игнатий Николаевич, д.ф.-м.н., с.н.с. Киев – 2015 2 СОДЕРЖАНИЕ стр. ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ…….. …………………………… 6 ВВЕДЕНИЕ…………………….………………………………………………...10 РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ УСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ И МАГНИТОМЕТРИИ............................................... 18 1.1 Анализ развития и достижений теории и практики устойчивых решений обратных задач гравиметрии и магнитометрии .………………………….. .18 1.2 Выводы…………………………………………………………………… 32 РАЗДЕЛ 2. ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ И МАГНИТОМЕТРИИ С ИТЕРАЦИОННЫМИ ПОПРАВКАМИ РАЗЛИЧНОГО ПОРЯДКА….. 33 2.1 Поисковые исследования путей улучшения решений ОЛЗ на базе известных оптимизационных итерационных методов……………………... 33 2.2 Новые оптимизационные итерационные методы снижения эффектов всплывания плотности и погружения намагниченности в решениях ОЛЗ….44 2.3 Оптимизационные итерационные методы для улучшения решений ОЛЗ при переменных по вертикали плотности и намагниченности ..………….…47 2.4 Оптимизационные итерационные методы для улучшения решений ОЛЗ в латеральных направлениях.……………………………………………..………54 2.5 Итерационные оптимизационные методы совместного решения ОЛЗ по магнитному и гравитационному полям….……………………………….......61 2.5.1 Методы оптимизации составного критерия по поправкам, невязкам и глубинам..…………………………………………………………………...…...61 2.5.2 Экстремальная обратная задача гравитационного и магнитного полей с двумя моделями среды и общим КО по невязкам поля. ……………….……67 2.6 Методы безусловной оптимизации устойчивых решений обратных задач с уточняющими итерационными поправками…………………………...……70 2.6.1 Методы безусловной оптимизации устойчивых решений обратных задач с уточняющими итерационными поправками к плотности……..…….70 3 2.6.2 Методы решения ОЛЗ с поправкой первого порядка в итерационной формуле ……………………………………………………………..….….……73 2.6.3 Методы решения ОЛЗ с поправкой второго порядка в итерационной формуле ……………………………………………………………..…….…...76 2.6.4 Методы решения ОЛЗ с поправкой третьего порядка в итерационной формуле …………………………………………….……………….…….…...79 2.6.5 Методы решения ОЛЗ с поправками различного порядка в итерационной формуле и критериях оптимизации ……………..…….……86 2.7 Выводы………………………………………………………………. …..97 РАЗДЕЛ 3. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРОВ С ИТЕРАЦИОННЫМИ ПОПРАВКАМИ РАЗЛИЧНОГО ПОРЯДКА…………………………………………………100 3.1 Методы решения ОЛЗ на основе фильтров Винера-Калмана с итерационными поправками различных порядков ………..……….…......100 3.2 Выводы……………………….…………………………………………....108 РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ И МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ В РУДНЫХ РАЙОНАХ…………………..110 4.1 Результаты решения обратных задач магнитного поля Александровского участка в южной части Кривбасса……………..………..110 4.2 Результаты решения обратной задачи магнитного поля Артемовского железорудного месторождения в северо-западной части Кривбасса (село Артемовка)……………………………………………………………………..122 4.3 Результаты решения обратной задачи магнитного поля северо-восточной части Николаевского участка (село Ново-Владимировка)……… …….……129 4.4 Результаты решения обратной задачи магнитного поля на Христофоровском участке Ингулской синклинали ……………..…………...133 4.5 Результаты решения обратной задачи гравимагнитометрии совместными методами. ……….…………………………….…………………………..……139 4 4.5.1 Совместная интерпретация магнитного и гравитационного поля в центре южной части Александровского участка (село Солдатское) ….…..139 4.5.2 Идентификация геологических массивов на основе совместной интерпретации магнитного и гравитационного поля на юго-востоке Александровского участка ……………………………………………………141 4.6 Результаты исследований с включением в модель обратной линейной задачи неизвестных горизонтальных компонент вектора интенсивности намагничивания горных пород ……………..…………………………..…….145 4.7 Результаты применения решений обратной задачи для поиска границ с постоянным скачком плотности или магнитных свойств ………………......147 4.8 Выводы …………………………………………………………..… ……..150 ВЫВОДЫ ………………………………………………………….…………..152 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ…………..………............154 Приложение А. Результаты экспериментов известными и усложненными методами решения обратных линейных задач ……………………….…….185 А.1 Анализ теории известных итерационных методов оптимизации критериев по невязкам поля и поправкам к плотности блоков и результатов решений ОЛЗ ………………………….………..……………………………185 А.1.1 Результаты экспериментальных решений ОЛЗ на сеточных моделях с закрепленными глубинами до блоков…………………………………...194 А.1.2 Методы оптимизации критериев для уточнения элементов матрицы решения прямой задачи гравиметрии …………………………..……......218 А.1.3 Применение итерационных методов решения ОЛЗ по реальным полям на северо-западе Николо-Гулакского участка ………………. ………......219 А.1.4 Описание алгоритма и программы решения ОЛЗ ………………..223 А.2 Метод простой итерации для переменной АП в блоках ………………229 А.2.1 Интерпретация гравитационного поля Родионовского участка ….230 А.3 Интерпретация гравитационного поля в Южной части Криворожского синклинория на основе методов простой итерации …………….…………..236 5 Приложение Б. Экспериментальные исследования на сеточных моделях решений ОЛЗ по измеренному и теоретическому полю………….…………243 Приложение В. Экспериментальные исследования на плотностных моделях с полубесконечными призмами методом простой итерации.................…..256 Приложение Г. Экспериментальные исследования на намагниченных моделях с полубесконечными и конечными призмами методом простой итерации и с уточняющими итерационными поправками…..……….…….260 Приложение Д. Сравнение результатов решения обратных задач различными линеаризованными методами ……………………….…………….…………265 Д.1 Сравнение результатов решения обратной задачи совместным и отдельным методом по гравиметрии ..…………………...................……265 Д.2 Сравнение результатов решения обратной задачи совместным и отдельным методом по магнитометрии……………………...................……267 Приложение Е. Идентификация геологических массивов на основе совместной интерпретации магнитного и гравитационного полей на юговостоке Александровского участка……………….…………………………. 268 Приложение Ж. Справка Криворожской комплексной геологической партии КП «Південьукргеологія»..........……..…… …………….……….…..272 Приложение З. Справка Криворожской геофизической партии Днепропетровской геофизической экспедиции «Дніпрогеофізика»………..273 6 ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ АД – априорные данные АП – аномальная плотность АТ – аномальное тело БО – безусловная оптимизация ВК –весовой коэффициент ВР – вертикальный разрез ВЭЗ – вертикальное электрическое зондирование ГАФВК – гибридный аналог фильтров Винера и Калмана ГД – гравиметрические данные ГМ – геологический массив ГММ – гравимагнитометрия, гравимагнитный метод ГП – горная порода ГС – геологическая содержательность ЗП – знакопеременная погрешность ИК – итерационный коэффициент ИМ – итерационный метод ИМО – итерационный метод оптимизации ИН – интенсивность намагничивания ИП – итерационная поправка ИФ – итерационная формула КВ – кора выветривания КВП – конечная вертикальная призма КГП – кристаллическая горная порода КЛ – коэффициент Лагранжа КО – критерий оптимизации (оптимальности) КРП – карта разностей поля КС – Криворожской синклинорий КФ – квадратичная форма 7 КЩ – кристаллический щит ЛНОЗ (ЛОЗ) – линеаризованная нелинейная обратная задача МД – магнитометрические данные МИ – метод интерпретации МНК – метод наименьших квадратов МНП – метод по невязкам поля МП – магнитное поле МПИ – месторождение полезных ископаемых МПП – метод по поправкам к плотности МР – метод решения МРР – метод регуляризации решения ОЗ МРПЗ – матрица решений прямых задач МРПЗГ – матрица решений прямых задач гравиметрии МРПЗМ – матрица решений прямых задач магнитометрии МС – магнитное свойство МСК – минимум суммы квадратов МСФП – максимальный скачок физического параметра НП – невязка поля НУ – начальные условия НУР – неустойчивое решение ОЗ – обратная задача ОЗГ – обратная задача гравиметрии ОЗГМ – совместное решение ОЗ по двум полям ОЗМ – обратная задача магнитометрии ОИМ – оптимизационный итерационный метод ОЛЗ – обратная линейная задача ОЛЗГ – обратная линейная задача гравиметрии ОЛЗМ – обратная линейная задача магнитометрии ОЛНЗ – обратная линейно-нелинейная задача ОЛНЗГ – обратная линейно-нелинейная задача гравиметрии 8 ОЛНЗГМ – см. ОЗГМ ОЛНЗМ – обратная линейно-нелинейная задача магнитометрии ОНДП – оптимизация невязок двух полей ОНЗ – обратная нелинейная задача ОНЗГ – обратная нелинейная задача гравиметрии ОНЗГМ – см. ОЗГМ ОНЗМ – обратная нелинейная задача магнитометрии ПВП – полубесконечная вертикальная призма ПЗГ – прямая задача гравиметрии ПЗМ – прямая задача магнитометрии ПИ – простая итерация ПП – погрешность поля ПКФ – поверхность кристаллического фундамента ПСТ – поле силы тяжести ПФ – постоянный фон РИ – результаты интерпретации РИП – реально измеренное поле РР – результаты решения ОЗ СБИМ – сеточно-блоковая интерпретационная модель СИМ – сеточная интерпретационная модель СКНП – среднеквадратичная невязка поля СЛАУ – система линейных алгебраических уравнений СПВО – СП вектора ошибки на вектор полезного сигнала СР –содержательное решение ТВП – точность восстановления поля ТМ – теоретическая модель ТН – тектоническое нарушение ТП – теоретическое поле ТПП – точность подбора поля УИП – уточняющая итерационная поправка 9 УМ – устойчивый метод УО – условная оптимизация УОП – ультраосновная порода УР – устойчивое решение ФИМ – фильтрационный итерационный метод ФП – физический параметр ФПГП – физический параметр горной породы ФПК – функциональный поправочный коэффициент ЧКО – частный критерий оптимизации ЧМ – численные методы ЭИМ – экстремально-избирательный метод ЭМ – экстремальный метод ЭМП – элементы матриц поля ЭОЗ – экстремальная обратная задача ЭП – эквивалентное перераспределение ЭР – эквивалентное решение 10 ВВЕДЕНИЕ Актуальность темы. Поскольку почти половина территории Украины находится на кристаллическом щите (КЩ) с малыми глубинами до кристаллических горных пород (КГП), то первостепенными задачами геофизики являются поиски в них любых рудных месторождений полезных ископаемых (МПИ). Решение этих задач невозможно без использования комплекса детальных геофизических исследований, включающего, кроме других, детальные магнитные и гравитационные съемки. В условиях, когда геологические массивы (ГМ) и аномальные тела (АТ) сильно неоднородны по плотности и магнитным свойствам (МС), содержат много включений более древних тяжелых и легких, сильно или слабо магнитных горных пород (ГП), аномалии от которых незаметны на фоне аномалий от больших структур, необходимо иметь методы устойчивого решения (УР) обратных линейных задач (ОЛЗ) гравиметрии (ОЛЗГ) и магнитометрии (ОЛЗМ) для определения в блоках сеточной интерпретационной модели (СИМ) средней аномальной плотности (АП) или средней интенсивности намагничивания (ИН) ГП, их вариаций или направлений изменения. Физические параметры (ФП) ГП необходимо также использовать в качестве начальных условий (НУ) по АП и ИН в итерационных методах (ИМ) при решении обратных нелинейных задач (ОНЗ) для извлечения из гравиметрических или магнитометрических данных (ГД, МД) надежной геологической информации о структурах АТ и их детальном строении, при недостатке или отсутствии априорных данных (АД), при разнородных интенсивных погрешностях поля (ПП) с его программным преобразованием устойчивыми методами (УМ) в многослойные вертикальные разрезы (ВР) и карты распределения АП или ИН на требуемых уровнях глубин. Для этого, наряду с использованием ранее известных, необходимо создать новые оптимизационные итерационные методы (ОИМ) с итерационными формулами (ИФ) и критериями оптимизации (КО), содержащими, кроме известных основных итерационных 11 поправок (ИП), еще и уточняющие итерационные поправки (УИП) и глубинные функциональные поправочные коэффициенты (ФПК) к структурным элементам ИП, которые фильтруют не только ПП, но и более точно отображают любые изменения АП или ИН от блока к блоку в СИМ, аппроксимирующей АТ. В этом и заключается основное значение выполненной работы, которая направлена на дальнейшее развитие теоретической базы наукоемких информационных технологий устойчивого и содержательного решения (СР) рудно-поисковых обратных задач (ОЗ) геофизики для прироста рудных запасов в Украине. Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа выполнялась в 2009-2012р.р. при участии автора в теоретическом обеспечении геолого-геофизических исследований и их практической реализации в Криворожской комплексной геологической партии Казенного предприятия «Південукргеологія» (Прилож. Ж) в рамках государственной темы №22-36 ГПК-50 «Геологическое прогнозное картирование М1: 50000» (№ госрегистрации U-03 -199/6). Затем была продолжена в 2014г. в Научно-исследовательском горнорудном институте Криворожского национального университета в рамках теоретического обеспечения договорной темы №21-11-1 «Выполнение наблюдений за состоянием массива горных пород в зоне влияния подработки залежей железной руды шахтой «Родина» и при сотрудничестве автора с Криворожской геофизической партией (Прилож. З). Далее работа была продолжена и завершена в 2015г. в К НУ имени Тараса Шевченко на кафедре геоинформатики УНИ "Институт геологии". Тема диссертации утверждена на заседании Ученого совета Криворожского национального университета, протокол №9 от 27.05.2014 г., а научный руководитель утвержден приказом ректора того же университета № 22-ад от 21.05.2014 г. Цель работы – разработать итерационные методы решения (МР) обратных линейных задач гравиметрии и магнитометрии с итерационными формулами и критериями оптимизации решения, содержащими, наряду с 12 основными, УИП или ФПК в их структуре, и найти те из них, которые дают устойчивое решение обратной задачи. Основные задачи исследований. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: 1. Провести анализ современного состояния и тенденций развития теории методов решения ОЛЗГ и ОЛЗМ в мире и в Украине, определить основные факторы, которые обеспечивают устойчивость решений экстремальных обратных задач (ЭОЗ) итерационными методами. 2. Разработать формулы уточняющих ИП к физическим параметрам ГП (ФПГП) и формулы ФПК к структурным элементам ИП. 3. Разработать ИФ с УИП или ФКП и содержащие их критерии условной и безусловной оптимизации (УО, БО) решения ОЗ. 4. Создать ОИМ устойчивого решения ОЗ с КО по минимуму суммы квадратов (МСК) основных или уточняющих ИП и их произведений. 5. Выполнить на компьютере экспериментальные решения ОЗ созданными ИМ на теоретических моделях ( ТМ ) и реально измеренных полях (РИП), и найти те из них, которые дают достаточно устойчивые решения ОЗ, и сравнить их с решениями другими известными ИМ. Объект исследований – теоретические и экспериментальные методы исследования геологической среды решением ОЗ гравиметрии и магнитометрии (ОЗГ и ОЗМ). Предмет исследований – оптимизационные методы устойчивых решений обратных линейных задач гравиметрии и магнитометрии с уточняющими итерационными поправками. Методы исследований: анализ и синтез литературных и фондовых материалов, методы математического, функционального и статистического анализа, методы математической логики и дискретной математики, методы теоретической и экспериментальной геофизики, методы линейной и нелинейной алгебры. 13 Научная новизна полученных результатов. 1. Впервые разработан и использован в итерационных формулах ряд из уточняющих итерационных поправок к АП (или ИН) ГП и ряд из УИП к невязкам гравитационных и магнитных полей (МП), что позволило создать два новых ряда независимых ОИМ решения ОЛЗ по разным поправкам к АП (или ИН) ГП и по невязкам поля (НП). На первом этапе решения ОЛЗ методами с УИП без основной ИП в ИФ почти полностью подавляют ПП всех видов и получают начало решения ОЛЗ, наиболее близкое к реальному, поскольку при отсутствии помех ОИМ дают точное решение ОЛЗ. На последующих этапах решения ОЛЗ УИП используются в ИФ вместе с основной ИП для почти полного восстановления поля в высоко аномальных зонах, чем и обеспечиваются более надежные результаты интерпретации (РИ) поля в условиях изменения физического параметра в горизонтальных направлениях и по глубине. 2. Получила дальнейшее развитие теория ИМ устойчивого решения рудно-поисковых ОЛЗГ и ОЛЗМ. Установлена причина появления в решении ОЗ вредного эффекта «погружения и всплывания АП или ИН ГП», обусловленная искажением долей НП, получаемых из одной точки основными ИП для всех блоков сеточной модели среды, расположенных на разных глубинах под той же точкой. Предложены формулы функциональных и других поправочных коэффициентов для более точного преобразования НП в добавку к АП или ИН каждого блока и исправления этого эффекта на 2- ом и следующих этапах решения ОЛЗ. 3. Впервые разработаны содержащие УИП критерии оптимизации решения ОЗ по минимуму суммы квадратов основных или уточняющих ИП и для каждого получены формулы вычисления итерационных коэффициентов (ИК). Это позволило последовательно переходить от решения ОЗ одним итерационным методом к другому или выбирать несколько комплексов методов для параллельного решения ОЛЗ и получения результата решения (РР) ОЗ, наиболее близкого к истинному. 14 4. Получили дальнейшее развитие ИМ устойчивого решения ОЗ на основе использования гибридных аналогов фильтров Винера–Калмана (ГАФВК) для двух частей поля над одной сеточной интерпретационной моделью, а также итерационные методы условной оптимизации решения ОЗ. За счет основных и уточняющих ИП первые приобрели независимость их использования от любых начальных условий, а вторые повысили однозначность решения ОЗ. 5. Усовершенствован ранее разработанный автором диссертации для линеаризованных нелинейных ОЗ (ЛНОЗ) метод решения ОЗ с критерием оптимизации по минимуму суммы квадратов невязок поля при совместном использовании в одной итерации гравитационного и магнитного полей при разных сеточно-блоковых интерпретационных моделях (СБИМ) для каждого поля, что позволило повысить однозначность решения ОЗ. 6. Впервые выполнены на компьютере экспериментальные решения ОЛЗГ и ОЛЗМ новыми методами с использованием УИП на теоретических и измеренных полях, и найдены те из них, которые дают достаточно УР ОЗ. Практическое значение полученных результатов. Использование уточняющих ИП и ФКП позволило существенно увеличить количество независимых МР ОЗ, последовательно переходить от решения ОЗ одним ИМ к другому, выбирать несколько комплексов методов для параллельного решения ОЗ, чем и обеспечивается более надежный выбор единого СР, наиболее близкого к истинному. За счет уточняющих ИП методы ВинераКалмана для двух частей поля, реально измеряемого над одной СИМ, приобрели независимость их использования от любых НУ без старта другим методом. В совместном гравимагнитном методе (ГММ) повышена и однозначность и содержательность РИ, используемых для построения многослойных ВР АП и ИН, что позволило реализовать ряд практических задач, например, послойное определение структуры месторождения, выявление структур более высокого порядка, уточнение контактов блоков и глубин к ним, исключение влияния сторонних масс, поиски разломов и 15 жильных месторождений по картам остатков поля. Результаты диссертации использованы в работах Криворожской комплексной геологической партии Казенного предприятия «Південукргеологія» при проверке гравитационных и магнитных аномалий бурением скважин и при составлении проекта глубинного бурения на глубинах 500-1000 м для прогнозного геологического картирования М 1:50000 и М 1:25000 (Прилож. Ж) и Криворожской геофизической партией при составлении проектов на выполнение детальных геофизических работ (Прилож. З). Методы линеаризованных ОЗ гравиметрии и магнитометрии использованы для изучения поверхности кристаллического фундамента (ПКФ) и проверки бурением с целью нахождения мест локализации ценных переотложенных минералов коры выветривания (КВ). Получили дальнейшее развитие МР ОЗ для прогнозного изучения структур на больших глубинах. Результаты диссертации автора использованы при преподавании учебных дисциплин на кафедре информатики и прикладной математики физико-математического факультета в Криворожском национальном университете: «Современные проблемы оптимизации», «Методы оптимизации и исследование операций», «Анализ данных», «Численные методы (дополнительные главы)», «Теория программирования», «Теория распознавания образов» и при подготовке студентами к защите квалификационных работ на звание специалиста и магистра. Личный вклад соискателя: В приведенных в автореферате работах автору принадлежит: в [2] – обоснование и введение в теорию итерационных методов критериев оптимизации решений ОЗ по МСК дифференциальных итерационных поправок 2-го порядка и разработка уточняющих итерационных поправок 3-го порядка для итерационных формул ; в [6-9] – разработка уточняющих ИП высшего порядка, введение в ИП функциональных и других поправочных коэффициентов за глубину блоков, критериев оптимальности та итерационных методов решения ОЗ по МСК этих поправок; в [3;4;10] – теоретическая разработка ИМ решения ОЗ с КО по МСК невязок поля и результаты их решения по конечным разностям 16 реального поля, вывод в общем виде формулы производной гравитационного потенциала целого порядка для получения формул производных дробного порядка с целью их применения для интерпретации конечных дробных разностей реального поля; в [5] – теоретическая разработка ИМ УО для пар статистических критериев и предложен способ нахождения коэффициента Лагранжа (КЛ); в [11] – результаты решения ОЛЗ c использованием аналогов фильтров Винера и Калмана. Апробация результатов диссертации. Результаты диссертации докладывались более, чем на 15 научных конференциях, в том числе: 1. На Международных семинарах им. Д. Г. Успенского «Теория и практика геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» в 2008, 2009, 2011, 2014, 2015 г.г. 2. На IV-VIII Международных конференциях «Геоинформатика» в 2006, 2009 г.г., г. Киев. 3. На X-XIV Международных симпозиумах «Геоинформационный мониторинг окружающей среды – GPS и GIS» в 2006- 2009 г.г., г. Алушта. 4. На Международной конференции молодых ученых «Геофизика2005»,С.-Петербург,2005. 5. На «VIII, IX, X Ежегодных геофизических чтениях им. В.В. Федынского», Москва, 2006-2008. 6. На VI, VII, VIII Всеукраинских научных конференциях «Мониторинг опасных геологических процессов и экологического состояния среды» в 2006, 2007, 2012 г.г., г. Киев. 7. На IX Международной научной конференции «Мониторинг геологических процессов» в 2009 г., г. Киев. 8. На Международной конференции «Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов», Казанский Госуниверситет, г. Казань, 2007,2009. 9. На международной конференции, посвященной 50-летию Института Геофизики УРО РАН, 2008. 17 10. На конференции, посвященной памяти фундаторов Карпатского отделения Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины Тараса Зиновьевича Вербицкого и Ярослава Станиславовича Сапужака, Львов, 2007. Публикации: По теме диссертации опубликовано 22 научных работы, среди которых 14 статей в научных журналах и сборниках научных трудов, в том числе: 9 статей в профессиональных изданиях, 1 статья в издании, которое входит до наукометрических баз данных, 2 – в иностранных научных изданиях, и 8 тезисов докладов на научных конференциях. Структура и объем работы. Диссертационная работа в объеме 184 стр. (в т.ч. учетных – 122) состоит из введения, четырех разделов, иллюстрированных 93 рисунками и 3 таблицами, выводов, списка использованных источников из 226 наименований и 8 приложений на 89 стр. Работа выполнена на кафедре геоинформатики УНИ «Институт геологии» Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Автор выражает сердечную благодарность научному руководителю доктору физико-математических наук Корчагину И.Н., д.г.н. Выжве С.А., д.г.н. Курганскому В.Н., д.г.н. Жукову Н.Н., д.г.н. Карпенко А.Н., чл.-кор. РАН Уткину В.И., чл.-кор. НАНУ Якимчуку Н.А., д.ф.-м.н. Долгалю А.С., к.ф.-м.н. Тишаеву В.И., к.ф.-м.н. Реве Н.В., к.г.н. Онищуку И.И., к.г.н. Виршило И.В., к.г.н. Меньшову А.І., к.ф.-м.н. Назаревичу А.В., к.г.-м.н. Омельченко В.Д., к.г.-м.н. Татариновой Е.А., д.г.-м.н. Евтехову В.Д., д.т.н. Доровскому В.А., д.т.н. Шелевицкому И.В, д.г.н. Довбничу М.М., д.г.н. Никулину С.Л., д.г.н. Пигулевскому П.И., ст. геол. КП «Південукргеологія» Мечникову Ю.П., геофизикам Чепурному В.И. и Зеленчуку В.Г. за весомую научную помощь, ценные советы и замечания на всех этапах создания и становления новых методов, их практической реализации и оформлении работы.

ВЫВОДЫ Созданы новые оптимизационные итерационные методы устойчивых и содержательных решений ОЛЗ, построенные на основе итерационных формул и оптимизационных критериев, содержащих, кроме основных, уточняющие итерационные поправки, для чего: 1. Получила дальнейшее развитие теория ИМ УР рудно-поисковых ОЛЗ. Установлена возможность ИМ с одной ИП высшего порядка подавлять на 1-ом этапе решения ОЛЗ распределенные по участкам профилей и по площади ПП. Установлена причина появления в решении ОЛЗ вредного эффекта «погружения и всплывания АП или ИН блоков ГП» и предложены формулы ФПК и ИМ для более точного преобразования НП в добавку к АП или ИН блоков ГП на 2-ом и последующем этапах решения ОЛЗ. 2. Впервые разработан и использован в ИФ итерационных методов ряд из 6 уточняющих ИП к физическим параметрам ГП и к НП, что позволило на 2-м и следующих этапах переходить от решения ОЛЗ одним ИМ к другому для получения решения, наиболее близкого к истинному. 3. Впервые создан новый итерационный метод безусловной оптимизации устойчивых решений ОНЗ, путем совместного использования решений ОЛЗ и нескольких критериев оптимизации для двух интерпретационных моделей с разными границами раздела неоднородных магнитоактивных и гравитирующих слоев, для выделения их границ. 4. Получили дальнейшее развитие методы устойчивого решения ОЛЗ для гибридных аналогов фильтров Винера-Калмана с двумя критериями оптимизации по двум частям поля, которые за счет уточняющих ИП дают сходимость решений от нулевых начальных условий (НУ), а поэтому не требуют начала решения другим стартовым методом. 5. Получили дальнейшее развитие оптимизационные итерационные методы устойчивого решения ОЗ с использованием постоянных по латерали скачков физических параметров на границах слоев, с уточнением элементов 153 матриц решения прямых задач гравиметрии и магнитометрии, с определением горизонтальных компонент вектора намагничивания горных пород по вертикальной компоненте вектора магнитного поля, учет которых в алгоритме повышает однозначность решения ОЗ и значительно ослабляет появление в решении ОЗ ложной обратной вертикальной компоненты намагниченности. Вместе с тем следует отметить, что почти на всех участках, кроме Христофоровского и Гуровского, из-за большой сети измерения поля геологические массивы аппроксимируются СИМ с блоками значительно больших размеров, что не дает возможности детально воспроизвести структуры МПИ, особенно железорудных месторождений, для которых необходимо использовать модели с более мелкими блоками и более мощные компьютеры для решения ОЛЗ с намного большим количеством неизвестных в СЛАУ. 6. Впервые выполнены на компьютере экспериментальные решения ОЛЗ новыми методами с использованием УИП на теоретических и измеренных реальных полях, по которым выявлены закономерности в искажении решений ОЛЗ от закона изменения ФП с глубиной и разработаны итерационные методы с двумя уточняющими поправками и методические приемы для правильного продолжения решения ОЛЗ. 7. Выполнены решения ОЗ различными методами автора на нескольких участках Большого Кривбасса с целью геофизического обеспечения работ по геологическому прогнозному картированию М1:50000 площадей, перспективных на рудные полезные ископаемые. Полученные вертикальные разрезы и карты распределения плотности и магнитных свойств в геологических массивах позволили более целенаправленно вести геологические исследования и выявить ряд рудопроявлений и оруденений, в том числе, медное и редкоземельное на Родионовском участке, никелевое и редкоземельное на Александровском участке, бокситовые на ЮжноКриворожском и Восточно-Ингулецком участках.