

Комплекс программ автоматизированной интерпретации данных потенциальных полей (GMT-Auto)

© В.И. Старостенко, О.В. Легостаева, И.Б. Макаренко,
А.С. Савченко, 2015

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 24 ноября 2014 г.

Представлено членом редколлегии О. М. Русаковым

Викладено принципи роботи програмного комплексу автоматизованої інтерпретації даних потенціальних полів (GMT-Auto), призначеного для автоматизації введення у комп'ютер зображень геолого-геофізичних карт з подальшим перетворенням уведених даних у цифровий вигляд; розв'язання прямих задач гравіметрії, магнітометрії і геотермії для тривимірних неоднорідних шарів, візуалізації тривимірних геофізичних моделей та їх полів. Використання комплексу суттєво полегшує та прискорює процес інтерпретації геофізичних полів.

Ключові слова: потенціальні поля, автоматизація введення в РС геолого-геофізичних карт, прямі задачі.

Введение. Трёхмерное моделирование геологических структур давно стало одним из мощных способов количественной интерпретации данных гравиметрии, магнитометрии и теплового поля, которые широко используются в геофизике.

Успех процесса интерпретации геолого-геофизических данных в большой степени зависит от технологических компьютерных программ, с помощью которых можно быстро и четко представлять информацию о среде, комбинировать ее с другими данными, экспортировать в существующие программные продукты и др. Важно, чтобы программы облегчали ввод в компьютер необходимой информации для решения различных задач, возникающих в науках о Земле, и визуализацию полученных результатов в разных проекциях. Для этих целей используют хорошо известные программные продукты, такие как MapInfo (www.mapinfo.com); CorelDraw (www.coreldraw.com); Surfer и Voxler (www.goldensoftware.com); ArcGis (www.esri.com) и др., а также создают специализированные программы, ориентированные на специфику задач геофизики [Петров и др., 2005; Гао, 2009; Бычков, 2010; Якимчик, 2010].

В настоящее время разработан новый комплекс (обобщающий также прежние разработки)

автоматизированной интерпретации гравитационного, магнитного и теплового полей (GMT-Auto), который позволяет по заданным полям строить трёхмерные модели с непрерывным распределением в них физических параметров. Это дает возможность проанализировать поля более детально, поскольку приближение расчетного поля к модельному в большой мере зависит от степени аппроксимации среды в модели.

Основной принцип, реализованный при создании рассматриваемого комплекса, все операции которого выполняются в интерактивном режиме, заключается в том, что на вход подаются начальные данные в виде карт (рельеф кровли и подошвы пласта, распределение физических параметров на них и др.). Результат работы комплекса — вычисленные эффекты геофизических полей, а также информация о физических свойствах среды в цифровом или графическом виде. Разработки являются дальнейшим развитием идей и методов, которые начали создаваться отечественными и зарубежными геофизиками при внедрении ЭВМ (компьютеров) в геофизическую практику [Старостенко и др., 1972; Пашко, Старостенко, 1983; Аронов, 1990 и др.]. Комплекс GMT-Auto состоит из следующих основных блоков:

- 1) автоматизированный ввод в компьютер изображений геолого-геофизических карт и построение их цифровых моделей, которые являются входными данными для решения прямой задачи;
- 2) решение прямой задачи гравиметрии, магнитометрии и геотермии для трехмерных неоднородных пластов, которые аппроксимируются совокупностью неоднородных вертикальных призм с произвольно расположенными верхним и нижним основаниями;
- 3) представление результатов решения прямых задач в графическом виде.

Все программное обеспечение системы написано в алгоритмическом языке С и работает в операционной среде MS Windows. Вычислительный комплекс имеет современный пользовательский интерфейс, легкий и удобный для использования.

Автоматизированный ввод в компьютер изображений геолого-геофизических карт. Основной объем геолого-геофизической информации в большинстве случаев имеет вид карт, схем, разрезов, графиков и т. п., поэтому для работы с ними разработаны программные комплексы, производящие автоматизированный ввод в компьютер этих данных с последующим представлением их в цифровом виде.

Программный комплекс *Geophys 0* предназначен для автоматизированной интерактивной обработки черно-белых изображений геолого-геофизических данных, главным содержанием которых является информация об изолиниях и их разрывах первого рода (разломы, обрывы и др.) [Старостенко и др., 2004]. Ранее подобные задачи выполнялись с помощью программы *MAP*, которая также была разработана в Институте геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины [Старостенко и др., 1997], но позволяла обрабатывать изображения карт, содержащих только изолинии.

На первом этапе с помощью встроенной подпрограммы *Teremki* устраняются помехи разной интенсивности, сглаживается контур и выполняется векторизация изображения. Затем непосредственно в программе *Geophys0*, вводятся линии разломов путем указания их начальной и конечной точек. Ввод изолиний осуществляется в полуавтоматизированном режиме. Для замкнутых изолиний вводится лишь их значение, остальным изолиниям оно присваивается после их отрисовки с помощью функций меню.

После окончания обработки изображения (рис. 1) результаты работы программного комплекса записываются в файл, который содержит



Рис. 1. Пример отображения результата обработки изображения с помощью комплекса *Geophys0*.

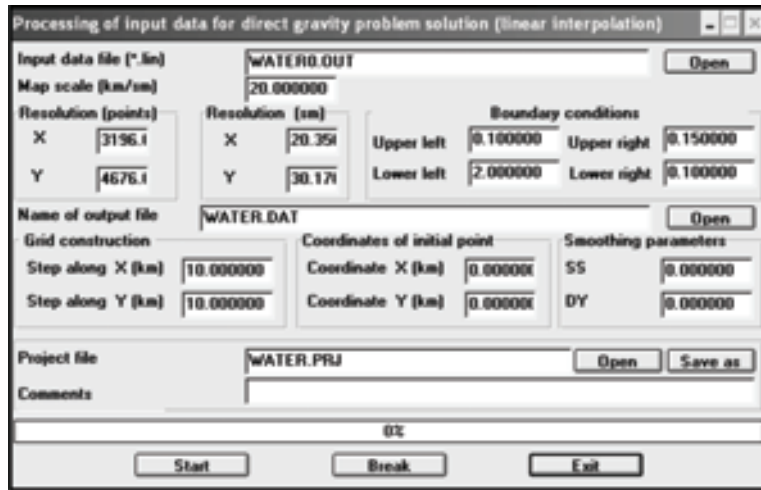


Рис. 2. Окно пользовательского интерфейса программы *Gridlinear*.

информацию о каждой введенной изолинии (порядковый номер; значение; количество узлов, описывающих ее положение, с указанием координат каждого из них).

Далее полученный файл используется в программе *Gridlinear*, с помощью которой производится построение сетки. Работа программы не представляет сложностей и предполагает задание следующих параметров для наложения сетки (рис. 2): масштаб карты (км/см), разрешение в пикселах для рабочего формата листа бумаги, размер рабочего листа бумаги (в сантиметрах), значение параметра в углах исходной карты, шаг сетки по осям X и Y (в километрах), координаты X и Y начальной точки карты (в километрах).

Результатом работы программы является файл *.dat, который содержит информацию о количестве точек по осям X и Y , шаге сетки и значениях координат каждого ее узла с указанием рассчитанного в нем значения физического параметра.

Программа SpaceMap разработана специально для использования при выполнении расчетов на щитах, поскольку в этом случае в компьютер необходимо вводить изображения карт, основным содержанием которых являются не изолинии, а тела (области) [Старостенко и др., 2011].

Процесс обработки изображения начинается с автоматического нахождения программой всех областей, которым необходимо присвоить

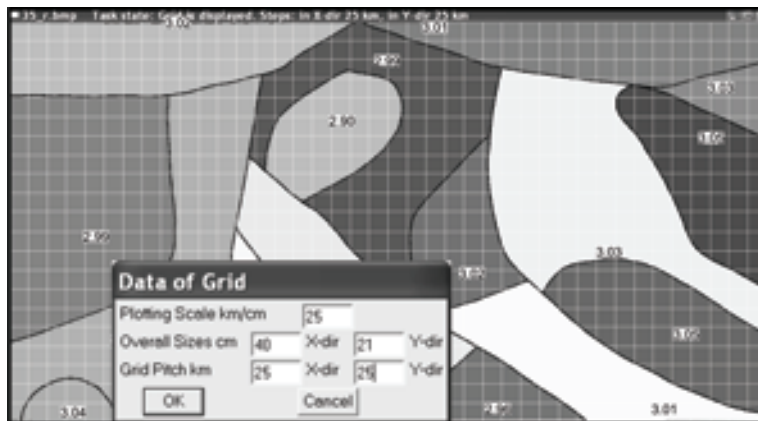


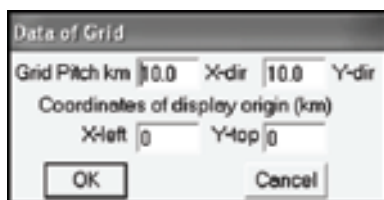
Рис. 3. Пример результата обработки изображения с помощью программы *SpaceMap*.

значение (индекс). Построение сетки производится непосредственно в процессе работы программы *SpaceMap* и не требует использования дополнительных программ, в отличие от *MAP* и *Geophys0*. Этот этап работы выполняется в считанные минуты и требует лишь указания следующих параметров: размер рамки исходного изображения (в сантиметрах) (рис. 3), его масштаб (км/см), шаг накладываемой сетки вдоль координатных осей X и Y (в километрах). При построении сетки каждому ее узлу присваивается значение индекса той области, в которую он попадает. Результатом работы программы *SpaceMap* является файл *.dat, содержание которого аналогично содержанию файла, полученного в результате работы программы *Gridlinear*.

Программный комплекс Isohypse разработан с целью объединения ранее созданных программных продуктов, таких как *MAP* [Старостенко и др., 1997] и *Geophys0* [Старостенко и др., 2004; Савченко и др., 2008]. Главное его преимущество — возможность обрабатывать как монохромные (черно-белые), так и цветные (оригиналы карт) изображения объектов в прямоугольной или географической системах координат. Этот комплекс предназначен для оцифровки геолого-геофизических объектов, представленных изолиниями и разломами, т. е. функциями с разрывами первого рода.

Ввод линий (разломов или изолиний) (рис. 4) выполняется одинаково при работе в различных системах координат и производится с помощью кривых Безье [Роджерс, Адамс, 2001].

Параметры построения сетки при работе в различных системах координат задаются по-разному. Так, в прямоугольной системе координат (рис. 5, а) необходимо ввести шаг сетки по осям X и Y и координаты начальной точки (в километрах), а в географической системе (рис. 5, б) предусмотрен выбор шага сетки по долготе и широте (в градусах или минутах) из приведенного перечня в окне программы.



а

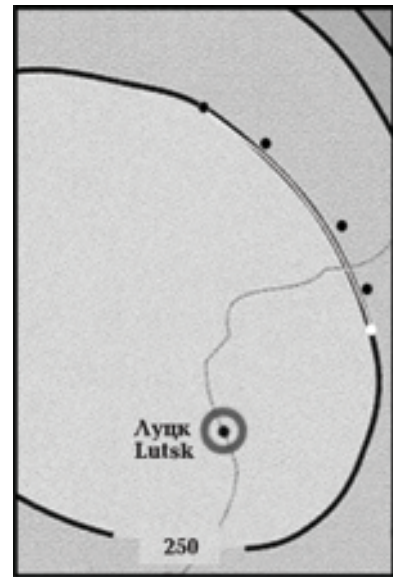
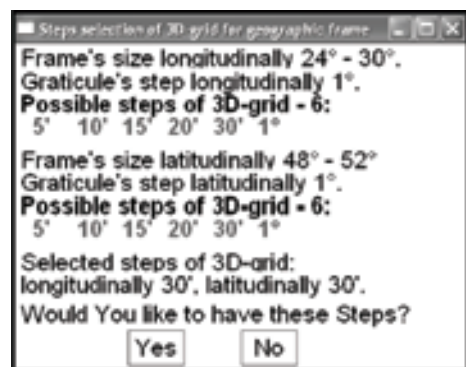


Рис. 4. Пример ввода изолиний с помощью кривых Безье.

В соответствии с введенными масштабом изображения и шагом, для каждого узла сетки определяется значение физического параметра, которое может быть откорректировано в случае необходимости. При этом используются различные способы определения величины $Z(x, y)$, характеризующей значение рассчитываемой функции в узле сетки. Если узел находится на изолинии, то данное значение известно. Если он находится между изолиниями, то программа определяет значение функции как линейную аппроксимацию между значениями изолиний. В остальных случаях для определения величины Z в точке (x, y) применяется интер-



б

Рис. 5. Окно задания параметров для наложения сетки при работе: а — в прямоугольной системе координат; б — в географической системе координат.

поляция с использованием кривых Безье 2-го и 3-го порядков.

В программном комплексе *Isohypse* реализованы возможности, которые обусловлены специфическими требованиями, предъявляемыми к обработке определенных изображений геофизических объектов. Так, впервые использовано понятие планарного¹ представления поверхности замкнутых изолиний, т. е. не только замкнутых на себя изолиний, но и изолиний, концы которых находятся на разломе или на рамке в разных вариациях.

Дополнительно было введено понятие изолинии специального типа. Таковой может быть любая изолиния, за которой нет других изолиний, и ее концы лежат на рамке. Необходимость ввода указанного понятия возникает в случае отсутствия информации на определенных участках карты. При этом всем точкам, которые ограничены этой изолинией, присваивается ее значение.

В программном комплексе также предусмотрена возможность вырезать и сохранить из уже созданного цифрового описания изображения данные в любой прямоугольной области, а также получить информацию вдоль выбранной линии или последовательности прямых линий для дальнейшего использования при построении двумерных разрезов.

Программные комплексы *Geophys0* и *Isohypse* хорошо зарекомендовали себя при работе с геолого-геофизическими материалами осадочных бассейнов [Бурьянов и др., 1999; Dirkzwager et al., 2000; Szalaiová et al., 2008; Bielik et al., 2013]. Программа *SpaceMap* была успешно использована при построении трехмерных плотностных моделей Воронежского кристаллического массива (ВКМ) [Золототрубова и др., 2010], Днепровско-Донецкой впадины с прилегающими территориями южного склона Украинского щита и северного склона ВКМ [Куприенко и др., 2010], а также при изучении широтных зон Украинского щита [Старостенко и др., 2012].

Решение прямых задач гравиметрии, магнитометрии и геотермии. Для решения прямых задач гравиметрии [Старостенко, Легостаева, 1998] и геотермии [Старостенко и др., 2003] разработан программный комплекс *Profile*, а для решения прямой задачи магнитометрии — программа *Magnitca* [Старостенко и др., 2009].

При решении этих задач горизонтально-слоистые геологические структуры аппроксими-

рованы набором неоднородных, произвольно усеченных вертикальных прямоугольных призм. В данном случае контактные поверхности формируются как совокупность “черепишек”, которыми являются основания призм [Старостенко, 1978].

Каждая программа позволяет решить задачу для многослойных моделей (от 1 до 9 слоев). Входная информация вводится для каждого слоя отдельно, зависит от выбранной задачи и представляет собой описание кровли и подошвы каждого слоя, а также информацию о распределении физического параметра на них в виде карт или значений.

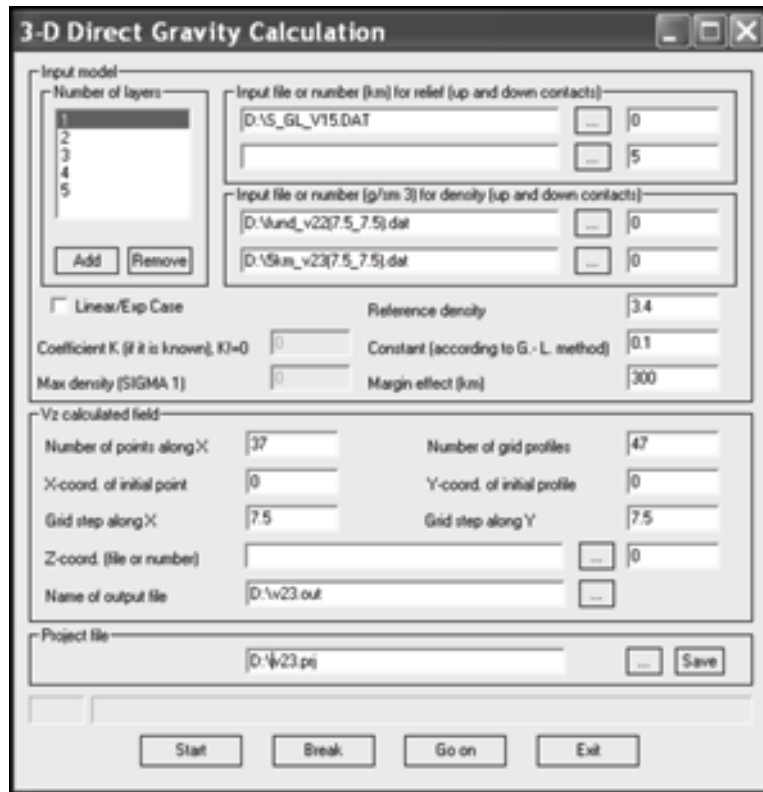
В программном комплексе *Profile* (рис. 6, а) предусмотрено изменение физических параметров (плотность (σ) — в задачах гравиметрии, плотность теплогенерации (Q) — в задачах геотермии) в пределах призмы по линейному закону вдоль горизонтальных координат на верхнем и нижнем основаниях и линейно или экспоненциально вдоль любой вертикальной линии, причем так, что в вершинах призмы физический параметр принимает заданные значения.

В программе *Magnitca* (рис. 6, б) реализован алгоритм расчета магнитного поля для анизотропных однородных тел на основе контурного интегрирования вдоль ребер граней, которые ограничивают поверхность тела. Кроме общего случая, когда рассчитывается магнитный эффект от пласта (слоя), разбиваемого на отдельные элементарные тела (усеченные прямоугольные призмы), предусмотрена возможность проведения расчетов для специального случая, когда источником аномального магнитного поля является одно тело (выпуклый многогранник произвольной формы или складка). В общем случае для всех элементарных тел используется магнитная модель — “одноосный тензор”. Для расчета магнитного эффекта (анизотропный случай) предусмотрено задание составляющих напряженности нормального поля (T_0) и трех главных значений тензора магнитной восприимчивости (χ). Разработана также модификация программы, позволяющая проводить расчеты магнитного эффекта от слоя для изотропного случая. При этом задается информация о составляющих напряженности нормального магнитного поля и намагниченности (I).

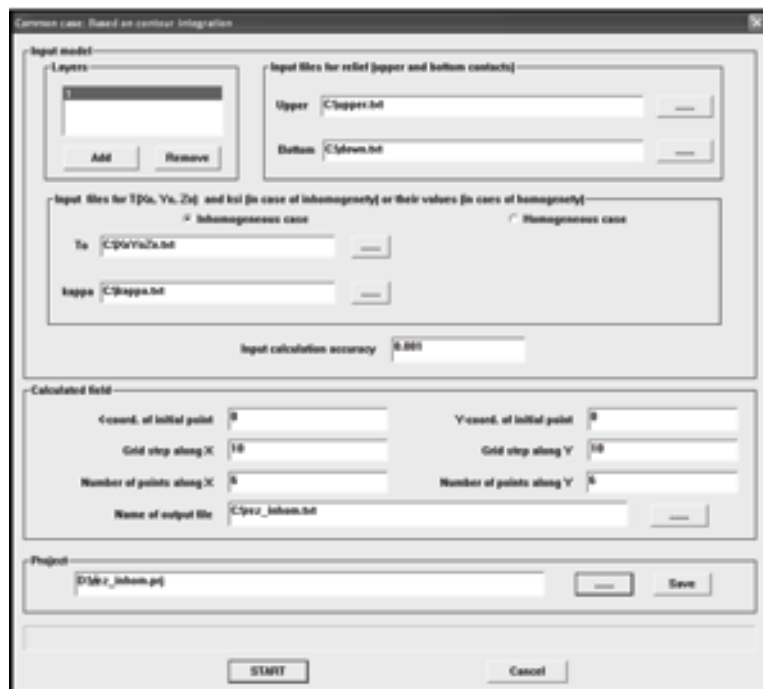
Работа каждой из программ условно состоит из следующих частей:

- 1) ввод исходной информации;
- 2) ввод параметров результирующего окна, в пределах которого ведутся расчеты, т. е.

¹ В данном случае — область одинаковых значений. В геологии и геофизики характеризует плато.



а



б

Рис. 6. Окно интерфейса программы *Profile* (а) и *Magnitca* (б).

задаются координаты начальной точки, размер и шаг выходной модели;

3) решение трехмерной задачи.

Результатом работы автоматизированного комплекса является получение файла, который содержит информацию о координатах каждой точки по осям X и Y и значения вычисленного в них поля. При решении задачи магнитометрии в выходном файле также содержится информация о составляющих вектора напряженности магнитного поля и его полного значения в каждой точке.

Представление результатов в графическом виде. Для представления результатов работы перечисленных выше программ и комплексов используется мощный картографический пакет *Golden Surfer* для построения графических изображений функций двух переменных, а также векторный графический редактор *CorelDraw* для художественного оформления полученных результатов и геоинформационная система *ArcGis* для перевода полученных данных в необходимую проекцию, построения изоповерхностей, выполнения выборки данных по заданному критерию или внутри определенной области и т. п.

Заключение. Автоматизированный комплекс (GMT-Auto) широко применяется при решении практических задач, связанных с изучением строения различных геологических структур по геофизическим данным со сложным геологическим строением. С помощью комплекса построены, в частности, новые трехмерные плот-

ностные модели осадочных бассейнов (Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса [Куприенко и др., 2010], Припятского прогиба [Бурьянов и др., 2000], Карпатско-Паннонского региона [Bielik et al., 2005, 2013; Krajňak et al., 2012], Черноморской впадины [Старостенко и др., 2010], северо-западного шельфа Черного моря [Старостенко и др., 2005; Starostenko et al., 2011 и др.], Нидерландской прибрежной зоны [Dirkzwager et al., 2000], Украинского [Куприенко и др., 2007] и Балтийского щитов [Пашкевич и др., 2014], Воронежского кристаллического массива [Старостенко и др., 2013]).

Использование созданного автоматизированного комплекса значительно облегчает и ускоряет процесс интерпретации геофизических полей (гравитационного, магнитного и геотермического и др.) методом трехмерного числового моделирования и существенно увеличивает разрешающую способность и интерпретационные возможности объемной геологической среды. Комплекс имеет широкую область применения при выполнении разных видов обработки и интерпретации геофизической информации, которая представлена в графическом виде. Он успешно использован в Vrije Universiteit, Amsterdam; Comenius University, Bratislava; Воронежском государственном университете; Геофизическом институте Словацкой академии наук (г. Братислава), Национальном институте геофизики, геодезии и географии Болгарской академии наук (г. София) и Институте геодинамики Румынской академии (г. Бухарест).

Список литературы

- Аронов В.И. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ. Москва: Недра, 1990. 303 с.
- Бурьянов В.Б., Макаренко И.Б., Старостенко В.И., Легостаева О.В. Восточная часть Днепровско-Донецкой впадины и Донбасс: новая трехмерная плотностная модель. *Геофиз. журн.* 1999. Т. 21. № 4. С. 20—39.
- Бурьянов В.Б., Макаренко И.Б., Старостенко В.И., Легостаева О.В., Гарецкий Р.Г., Данкевич И.В., Каратаев Г.И. Припятский прогиб: гравитационный эффект осадочной толщи и плотностные неоднородности верхней части фундамента. *Геофиз. журн.* 2000. Т. 22. № 4. С. 62—74.
- Бычков С.Г. Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии. Екатеринбург: Изд. Горного ин-та УрО РАН, 2010. 188 с.
- Золототрубова Э.И., Надежка Л.И., Ипполитов О.М., Старостенко В.И., Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Легостаева О.В., Савченко А.С. 3D плотностная модель Воронежского кристаллического массива: *Материалы XVI Международной конференции "Свойства, структура, динамика и мигрирования литосферы Восточно-Европейской платформы"*. Воронеж: Научная книга, 2010. Т. 1. С. 294—295.
- Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Старостенко В.И., Легостаева О.В. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2007. Т. 29. № 5. С. 3—27.

- Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Старостенко В.И., Легостаева О.В., Савченко А.С. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 6. С. 175—214.
- Пашкевич И.К., Шаров Н.В., Савченко А.С., Старостенко В.И. Трехмерная геолого-геофизическая модель литосферы Центральной части Карельского кратона. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 6. С. 58—78.
- Пашко В.Ф., Старостенко В.И. Интерактивные системы и автоматическое построение карт в геофизике (по материалам зарубежных публикаций). Региональная, разведочная и промышленная геофизика. Обзор. Москва: ВИЭМС, 1983. 68 с.
- Петров А.В., Пискун П.В., Зиновкин С.В. Новые возможности компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа геоданных "КОСКАД-ЗД". *Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 32-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского.* Пермь: ГИ УрО РАН, 2005. С. 219—221.
- Роджерс Д., Агамс Дж. Математические основы машинной графики. Москва: Мир, 2001. 604 с.
- Савченко А.С., Старостенко В.И., Легостаева О.В., Макаренко И.Б. Практическое использование автоматизированного комплекса при интерпретации данных потенциальных полей методом подбора. *Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 35-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского 29 янв. — 3 февр. 2008 г.* Ухта: УГТУ, 2008. С. 271—274.
- Старостенко В.И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. Киев: Наук. думка, 1978. 228 с.
- Старостенко В.И., Бас Р.Г., Бутаков Г.С., Дядюра В.А. Автоматизированная система оперативной обработки данных гравиметрии и магнитометрии. Киев: Наук. думка, 1972. 164с.
- Старостенко В.И., Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Легостаева О.В., Савченко А.С. Плотностная неоднородность коры вдоль широтных зон разломов Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 6. С. 113—132.
- Старостенко В.И., Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Легостаева О.В., Савченко А.С., Надежка Л.И., Золототрубова Э.И., Ипполитов О.М. Основные типы земной коры Украинского щита и Воронежского кристаллического массива по результатам трехмерного гравитационного моделирования: *Материалы 40-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского Москва, 28 янв. — 1 февр. 2013 г.* Москва: ИФЗ РАН, 2013. С. 332—335.
- Старостенко В.И., Кутас Р.И., Легостаева О.В. Решение прямой задачи геотермии для неоднородной произвольно усеченной вертикальной прямоугольной призмы. *Физика Земли.* 2003. № 12. С. 64—71.
- Старостенко В.И., Легостаева О.В. Прямая задача гравиметрии для неоднородной произвольно усеченной вертикальной прямоугольной призмы. *Физика Земли.* 1998. № 12. С. 31—44.
- Старостенко В.И., Легостаева О.В., Макаренко И.Б., Павлюк Е.В., Шарыпанов В.М. Об автоматизированном вводе в компьютер изображений геолого-геофизических карт с разрывами первого рода и визуализации в интерактивном режиме трехмерных геофизических моделей и их полей. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 1. С. 3—13.
- Старостенко В.И., Макаренко И.Б., Русаков О.М., Пашкевич И.К., Кутас Р.И., Легостаева О.В. Геофизические неоднородности литосферы мегавпадины Черного моря. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 5. С. 3—20.
- Старостенко В.И., Мацелло В.В., Аксак И.Н., Кулеш В.А., Легостаева О.В., Егорова Т.П. Автоматизация ввода в компьютер изображений геофизических карт и построение их цифровых моделей. *Геофиз. журн.* 1997. Т. 19. № 1. С. 3—13.
- Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Макаренко И.Б., Русаков О.М., Кутас Р.И., Легостаева О.В. Разломная тектоника консолидированной коры северо-западного шельфа Черного моря. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 2. С. 195—207.
- Старостенко В.И., Шарыпанов В.М., Савченко А.С., Легостаева О.В., Макаренко И.Б., Куприенко П.Я. Об автоматизированной интерактивной обработке графических изображений геологических и геофизических объектов. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 1. С. 54—61.
- Старостенко В.И., Шуман В.Н., Иващенко И.Н., Легостаева О.В., Савченко А.С., Скрипник О.Я. Магнитные поля трехмерных анизотропных тел: теория и практика вычислений. *Физика Земли.* 2009. № 8. С. 20—35.
- Якимчик А.И. Технология оцифровки карт фактического материала на основе программного обеспечения MapInfo Professional и CorelDraw. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 4. С. 112—124.
- Bielik M., Makarenko I., Starostenko V., Legostaeva O., Dererova J., Šhefara J., Pasteka R., 2005. New 3D

- gravity modeling in the Carpathian-Pannonian basin region. *Contrib. Geophys. Geod.* 35(1), 65—78.
- Bielik M., Krajňak M., Makarenko I., Legostaeva O., Starostenko V., Bošanský M., Grinè M., Hók J., 2013. 3D gravity interpretation of the pre-Tertiary basement in the intramontane depressions of the Western Carpathians: a case study from the Turiec Basin. *Geologica Carpathica* 64 (5), 99—408.
- Dirkzwager J.B., Stephenson R.A., Legostaeva O.V., 2000. The pre-Permian residual gravity field for the Dutch onshore and adjacent offshore. *Global Planet. Change* 27, 53—66.
- Gao D., 2009. 3D seismic volume visualization and interpretation: An integrated workflow with case studies. *Geophysics* 74 (1), W1—W12.
- Krajňak M., Bielik M., Makarenko I., Legostaeva O., Starostenko V., Bošanský M., 2012. The first striped gravity map of the Turcianska Kotlina Basin. *Contrib. Geophys. Geod.* 42 (2), 181—199.
- Starostenko V.I., Krupskiy B.L., Pashkevich I.K., Rusakov O.M., Makarenko I.B., Kutas R.I., Gladun V.V., Legostaeva O.V., Lebed T.V., Maksymchuk P.Ya., 2011. Fault Tectonics of the NE Black Sea Shelf and Its Relevance to Hydrocarbon Potential. Search and Discovery Article 30155, Posted March 25, 2011.
- Szalaiová E., Bielik M., Makarenko I., Legostaeva O., Hók J., Starostenko V., Šujan M., Šefara J., 2008. Calculation of a stripped gravity map with a high degree of accuracy: a case study of Liptovská Kotlina Basin (Northern Slovakia). *Geological Quarterly* 52 (2), 103—114.

Software system for automated data interpretation of potential fields (GMT-Auto)

© V.I. Starostenko, O.V. Legostayeva, I.B. Makarenko, A.S. Savchenko, 2015

Principles of operation have been set out for a program complex of the potential fields automated interpretation (GMT-Auto) aimed at computer input automation for images of geologic-geophysical maps with subsequent transformation of the introduced data into digital form; solving direct gravity, magnetic and thermal problems for three-dimensional heterogeneous layers; visualization of three-dimensional geophysical models and their fields. Application of created complex facilitates and hastens essentially the process of geophysical fields interpretation.

Key words: complex, potential fields, automated interpretation, direct problems.

References

- Aronov V.I., 1990. Methods of mapping geological and geophysical characteristics and the geometrization of oil and gas deposits on the computer. Moscow: Nedra, 303 p. (in Russian).
- Buryanov V.B., Makarenko I.B., Starostenko V.I., Legostaeva O.V., 1999. Eastern part of the Dnieper-Donets depression and Donbas: a new three-dimensional density model. *Geofizicheskiy zhurnal* 21 (4), 20—39 (in Russian).
- Buryanov V.B., Makarenko I.B., Starostenko V.I., Legostaeva O.V., Garetskiy R.G., Dankevich I.V., Karataev G.I., 2000. Pripyat Trough: the gravitational effect of sedimentary strata and density inhomogeneities in the upper part of the foundation. *Geofizicheskiy zhurnal* 22 (4), 62—74 (in Russian).
- Bychkov S.G., 2010. Methods of processing and interpretation of gravity observations in solving problems of petroleum geology. Ekaterinburg: MI UBRAS, 188 p. (in Russian).
- Zolototrubova E.I., Nadezhka L.I., Ippolitov O.M., Starostenko V.I., Kuprienko P.Ya., Makarenko I.B., Legostaeva O.V., Savchenko A.S., 2010. 3D density model Voronezh crystalline massif: Proc. of the XVI Int. Conf. "Properties, structure, dynamics and Minerageny lithosphere of the East European platform". Vol. 1. Voronezh: Nauchnaya kniga, 294—295 (in Russian).

- Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V., 2007. Three-dimensional density model of the crust and upper mantle of the Ukrainian shield. *Geofizicheskiy zhurnal* 29 (5), 3—27 (in Russian).
- Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Starostenko V. I., Legostaeva O. V., Savchenko A. S., 2010. Three-dimensional density model of the crust and upper mantle of the Dnieper-Donets depression and Donbas. *Geofizicheskiy zhurnal* 32 (6), 175—214 (in Russian).
- Pashkevich I. K., Sharov N. V., Savchenko A. S., Starostenko V. I., 2014. Three-dimensional geological-geophysical model of the lithosphere of the Central part of the Karelian craton. *Geofizicheskiy zhurnal* 36 (6), 58—78 (in Russian).
- Pasko V. F., Starostenko V. I., 1983. Interactive systems and automatic construction of maps in geophysics (based on foreign publications). Regional, and industrial exploration geophysics. Browse. Moscow: VIEMS, 68 p. (in Russian).
- Petrov A. V., Piskun P. V., Zinovkin S. V., 2005. New features of computer technology, statistical and spectral correlation analysis of geodata "KOSKAD-ZD". *Theory and practice of geological interpretation of gravity, magnetic and electric fields: Proc. of the 32nd session of the International Seminar behalf D. G. Uspenskiy*. Perm: GI RAS, 219—221 (in Russian).
- Rogers D., Adams J., 2001. Mathematical foundations of computer graphics. Moscow: Mir, 604 p. (in Russian).
- Savchenko A. S., Starostenko V. I., Legostaeva O. V., Makarenko I. B., 2008. Practical use of automated complex in the interpretation of potential field data selection method. *Theory and practice of geological interpretation of gravity, magnetic and electric fields: Proc. of the 35th session of the Int. seminar behalf D. G. Uspenskiy. January 29 — February 3*. Ukhta: UGTU, 271—274 (in Russian).
- Starostenko V. I., 1978. Stability of numerical methods in problems of gravity. Kiev: Naukova Dumka, 228 p. (in Russian).
- Starostenko V. I., Bas R. G., Butakov G. S., Dyadyura V. A., 1972. Automated system operational data gravimetry and magnetometry. Kiev: Naukova Dumka, 164 p. (in Russian).
- Starostenko V. I., Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Legostaeva O. V., Savchenko A. S., 2012. Density inhomogeneities in the crust along the latitudinal fault zones of the Ukrainian Shield and the Dnieper-Donets Basin. *Geofizicheskiy zhurnal* 34 (6), 113—132 (in Russian).
- Starostenko V. I., Kuprienko P. Ya., Makarenko I. B., Legostaeva O. V., Savchenko A. S., Nadezhka L. I., Zolototrubova E. I., Ippolitov O. M., 2013. Main types of the earth crust of the Ukrainian Shield and Voronezh crystalline massif on the results of three-dimensional gravity modeling: *Proc. of the 40th session of the Int. Seminar behalf D. G. Uspenskiy. Moscow, January 28 — February 1*. Moscow: IPE RAS, 332—335. (in Russian).
- Starostenko V. I., Kutas R. I., Legostaeva O. V., 2003. The solution of the direct problem for the inhomogeneous geothermic arbitrarily truncated vertical rectangular prism. *Fizika Zemli* (12), 64—71 (in Russian).
- Starostenko V. I., Legostaeva O. V., 1998. Direct gravimetric problems for inhomogeneous arbitrarily truncated vertical rectangular prism. *Fizika Zemli* (12), 31—44 (in Russian).
- Starostenko V. I., Legostaeva O. V., Makarenko I. B., Pavlyuk E. V., Sharypanov V. M., 2004. On automated input into the computer images of geological and geophysical maps with discontinuities of the first kind and visualization of three-dimensional interactive geophysical models and their fields. *Geofizicheskiy zhurnal* 26 (1), 3—13 (in Russian).
- Starostenko V. I., Makarenko I. B., Rusakov O. M., Pashkevich I. K., Kutas R. I., Legostaeva O. V., 2010. Geophysical lithospheric heterogeneity megadepression Black Sea. *Geofizicheskiy zhurnal* 32 (5), 3—20 (in Russian).
- Starostenko V. I., Matsello V. V., Aksak I. N., Kuleshov V. A., Legostaeva O. V., Egorova T. P., 1997. Automation computer input image geophysical maps and building their digital models. *Geofizicheskiy zhurnal* 19 (1), 3—13 (in Russian).
- Starostenko V. I., Pashkevich I. K., Makarenko I. B., Rusakov O. M., Kutas R. I., Legostaeva O. V., 2005. Fault tectonics crust north-western shelf of the Black Sea. *Geofizicheskiy zhurnal* 27 (2), 195—207 (in Russian).
- Starostenko V. I., Sharypanov V. M., Savchenko A. S., Legostaeva O. V., Makarenko I. B., Kuprienko P. Ya., 2011. An automated interactive graphics process of geological and geophysical objects. *Geofizicheskiy zhurnal* 33 (1), 54—61 (in Russian).
- Starostenko V. I., Shuman V. N., Ivashchenko I. N., Legostaeva O. V., Savchenko A. S., Skrynik O. Ya., 2009. Magnetic field of three-dimensional anisotropic solids: theory and practice of computing. *Fizika Zemli* (8), 20—35 (in Russian).
- Yakimchik A. I., 2010. Technology digitizing maps of factual material on the basis of software Map-Info Professional and CorelDraw. *Geofizicheskiy zhurnal* 32 (4), 112—124 (in Russian).

- Bielik M., Makarenko I., Starostenko V., Legostaeva O., Dererova J., Šhefara J., Pasteka R., 2005. New 3D gravity modeling in the Carpathian-Pannonian basin region. *Contrib. Geophys. Geod.* 35(1), 65—78.
- Bielik M., Krajňak M., Makarenko I., Legostaeva O., Starostenko V., Božanský M., Grinè M., Hók J., 2013. 3D gravity interpretation of the pre-Tertiary basement in the intramontane depressions of the Western Carpathians: a case study from the Turiec Basin. *Geologica Carpathica* 64 (5), 99—408.
- Dirkzwager J.B., Stephenson R.A., Legostaeva O.V., 2000. The pre-Permian residual gravity field for the Dutch onshore and adjacent offshore. *Global Planet. Change* 27, 53—66.
- Gao D., 2009. 3D seismic volume visualization and interpretation: An integrated workflow with case studies. *Geophysics* 74 (1), W1—W12.
- Krajňak M., Bielik M., Makarenko I., Legostaeva O., Starostenko V., Božanský M., 2012. The first striped gravity map of the Turcianska Kotlina Basin. *Contrib. Geophys. Geod.* 42 (2), 181—199.
- Starostenko V.I., Krupskiy B.L., Pashkevich I.K., Rusakov O.M., Makarenko I.B., Kutas R.I., Gladun V.V., Legostaeva O.V., Lebed T.V., Maksymchuk P.Ya., 2011. Fault Tectonics of the NE Black Sea Shelf and Its Relevance to Hydrocarbon Potential. Search and Discovery Article 30155, Posted March 25, 2011.
- Szalaiová E., Bielik M., Makarenko I., Legostaeva O., Hók J., Starostenko V., Šujan M., Šefara J., 2008. Calculation of a stripped gravity map with a high degree of accuracy: a case study of Liptovská Kotlina Basin (Northern Slovakia). *Geological Quarterly* 52 (2), 103—114.