

## Об автоматизированной интерактивной обработке графических изображений геологических и геофизических объектов

© В. И. Старостенко<sup>1</sup>, В. М. Шарыпанов<sup>2</sup>, А. С. Савченко<sup>1</sup>,  
О. В. Легостаева<sup>1</sup>, И. Б. Макаренко<sup>1</sup>, П. Я. Куприенко<sup>1</sup>, 2011

<sup>1</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Международный научно-учебный центр информационных технологий  
и систем НАН и Министерства образования и науки Украины,  
Киев, Украина

Поступила 5 марта 2010 г.

*Представлено членом редколлегии И. Н. Корчагиным*

Викладено принцип та етапи роботи програми SpaceMap, що призначена для введення в комп'ютер геолого-геофізичної інформації, поданої графічно у вигляді тіл (ділянок, зон) на паперових носіях або як файл растрового зображення. Використання програми значно полегшує та прискорює етап введення інформації до комп'ютера, а отже, і подальшу роботу, оскільки файл результату програми можна безпосередньо використовувати для розв'язання задач геофізики.

The principle and stages of work have been stated for the Space Map program destined for loading the computed with geological-geophysical information presented graphically as the bodies (areas, zones) on the paper bearers or as a file of scan pattern. Application of the program facilitates and accelerates the stage of loading information into a computer considerably, and the consequent work as a result, i. e. the file of a program result can be used directly for solving the problems of geophysics.

**Введение.** Успех процесса интерпретации геолого-геофизических данных в существенной мере зависит от технологичности используемых программных комплексов. Важно, чтобы они обеспечивали удобный ввод в компьютер необходимой исходной информации для решения поставленной задачи и визуализацию (в соответствующих проекциях) полученных результатов. В геофизике для этих целей используются хорошо известные разработки общего назначения (такие, как MapInfo, Corel-Draw, ArcGis и другие [Weiss et al., 2009; McArthur et al., 2010; Якимчик, 2010]), а также создаются специализированные пакеты, ориентированные на специфику задач геофизики [Старостенко и др., 1997; 2004; Савченко и др., 2008]. В этом плане показательны самые

последние разработки Chevron Energy Technology Company [Gao, 2009].

Значительный объем геолого-геофизической информации по-прежнему хранится в виде разрезов, карт, графиков и пр. Поэтому для работы с ними были разработаны программные комплексы MAP и GEOPHYS0, которые осуществляют автоматизацию ввода в компьютер информации, заданной в графической форме, с последующим представлением ее в цифровом виде [Савченко и др., 2008]. Первый комплекс ориентирован для работы с картами, которые не содержат изображений с разрывами первого рода [Старостенко и др., 1997]. Второй из них используется для карт, содержащих изображения таких функций (отображающих разломы) [Ста-

ростенко и др., 2004]. Данные программы хорошо зарекомендовали себя при работе с геолого-геофизическими материалами осадочных бассейнов [Dirkzwager et al., 2000; Bielik et al., 2005; Старостенко и др., 2005; Szalaiová et al., 2008].

Вместе с тем использование указанных программных комплексов на кристаллических щитах оказалось трудоемким, поскольку в компьютер необходимо вводить изображения карт, основным содержанием которых являются не изолинии, а тела (области). Чтобы облегчить решение такой задачи, была разработана специальная программа SpaceMap, принципы и этапы работы с которой коротко изложены в данной статье.

**Программа SpaceMap** создана в виде исполняемого модуля SpaceMap.exe как приложение (Win32 Application) в среде программирования Visual C++<sup>®</sup> 6.0 Enterprise Edition для операционной системы Windows XP. Для комфортной работы программы необходимы следующие технические и программные средства: IBM-PC с процессором Pentium IV 3 GHz (или Pentium Dual-Core с тактовой частотой 2 GHz, 1 Гб RAM, 80 Гб HDD), монитор 19" (желательно два монитора, подключенные к компьютеру оператора), видеокарта 512 Мб; операционная система MS Windows XP. Все характеристики должны быть не ниже указанных.

Программа предназначена для автоматизированной интерактивной обработки изображений геофизических объектов, представленных в виде графических монохромных Bitmap файлов, главным содержанием которых является информация об областях, определяемых как связные множества белых пикселей, разделенные черными линиями. Под связными множествами понимаются такие, для каждого элемента которых с координатой  $(x, y)$  соседними могут быть только четыре пикселя того же цвета с координатами  $(x - 1, y)$ ,  $(x + 1, y)$ ,  $(x, y - 1)$ ,  $(x, y + 1)$ . Для выделения связных множеств белых пикселей используется представление изображения в виде списка особых мест или "уголков", как это определено в работе [Шлезингер, 1989, с. 68—70]. Программа кодирует изображение с помощью уголков и на их основании строит контуры, отделяющие белые пиксели от черных.

Разработанный в программе SpaceMap способ и порядок построения контуров, а также метод определения вложенности контуров обеспечивают выделение связных множеств белых пикселей и исключают необходимость

проверки принадлежности каждого белого пикселя конкретному связному множеству. Эти же приемы позволяют выделить и связные множества черных пикселей, благодаря чему упрощается поиск мест разрывов черных линий.

Процесс обработки изображения заключается в нахождении всех областей, присвоении каждой из них некоторого числового значения (индекса), наложения на построенное изображение сетки (по известным размерам и масштабу исходного рисунка) и определения индексов в узлах сетки.

**Эксплуатационные характеристики комплекса.** Значительное количество функций автоматизированной интерактивной обработки изображений геофизических объектов выполняются программой автоматически. К таким функциям относятся следующие:

- поиск рамки, определяющей границы геофизического объекта;
- исключение информации, находящейся за пределами рамки;
- поиск областей;
- автоматический поиск разрывов линий, разделяющих области;
- подсвечивание мест редактирования (устранения искажений) исходных данных;
- автоматическое ведение архива имен модифицированных исходных файлов;
- вывод на экран монитора очередной индексированной области;
- контроль правильности формата вводимых индексов;
- запись на жесткий диск промежуточных данных индексации;
- запись на жесткий диск окончательных результатов индексации;
- автоматическое ведение архива характеристик исходных файлов;
- построение и вывод на экран сетки;
- определение значений индексов в узлах сетки;
- подсвечивание узлов сетки, в которых корректировались значения индексов;
- запись на жесткий диск выходных данных.

**Входными данными** являются графические изображения геофизических объектов, которые построены от руки или с помощью любого графического программного пакета, представленные в виде черно-белого растрового изображения с разрешением 200—600 dpi как Bitmap файлы (\*.bmp) и обведенные прямоугольной рамкой без разрывов. Расстояние

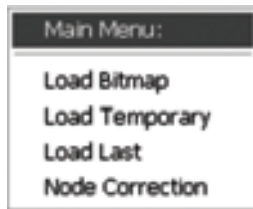


Рис. 1. Вид главного меню.

сторон рамки от соответствующих сторон изображения должно быть не менее 5 мм. Вспомогательная информация может находиться за пределами рамки, но не касаться ее. Размеры рамки в километрах должны быть кратными шагам сетки (в километрах) по обеим координатам, что является обязательным условием достижения равномерности сетки по всему изображению.

**Работа с программой** включает в себя: открытие изображения, отображение областей с последующим поиском и устранением разрывов линий, индексацию областей, построение сетки с возможной коррекцией индексов в ее узлах.

При открытии исходного файла (в главном меню приложения пункт Load Bitmap) (рис. 1) программа автоматически производит поиск прямоугольной рамки и исключает информацию, находящуюся за ее пределами.

Пример исходного изображения на экране монитора представлен на рис. 2. В заголовке окна указано имя открытого файла (35\_r.bmp)

и состояние, в котором находится программа в данный момент (Task state: General View). В правой нижней части главного окна указаны некоторые параметры исходного изображения: размер изображения в пикселях, количество бит памяти на один пиксель, размер файла в байтах, разрешение сканирования, масштаб отображения.

**Отображение областей** выполняется с помощью пункта всплывающего меню Draw Spaces нажатием правой кнопки мыши на изображении (см. рис. 2), в результате чего каждой области присваивается свой номер и цвет (рис. 3). Даже при беглом осмотре рисунка видно, что некоторые, разные по смыслу, области определены как одна и, следовательно, окрашены одним цветом. Нетрудно сделать вывод, что линии, разделяющие эти области, имеют разрывы. Это говорит о том, что исходные данные содержат искажения, полученные в процессе подготовки (т.е. разрывы линий, разделяющих области в процессе подготовки).

**Поиск и устранение разрывов линий.** Поиск разрывов линий производится автоматически, но не дает стопроцентной гарантии обнаружения разрывов, поскольку в методе поиска заложен параметр "Длина разрыва", величина которого задана достаточно произвольно и равна 5 пикселям. Кроме того, при недостаточно качественном создании исходных данных возможно ложное появление мест разрывов. Поэтому, хотя поиск разрывов производится автоматически, устраняются они вручную.

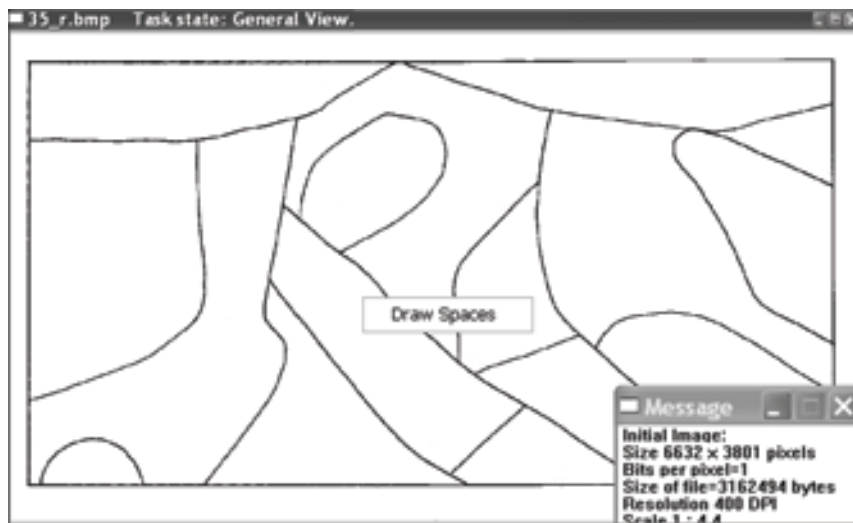


Рис. 2. Пример исходного изображения.



Рис. 3. Раскрашенный файл областей.

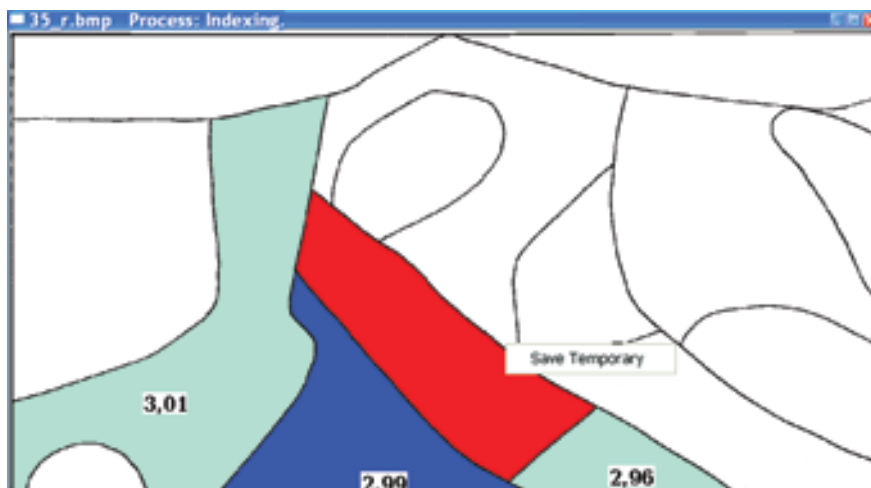


Рис. 4. Фрагмент индексации областей.

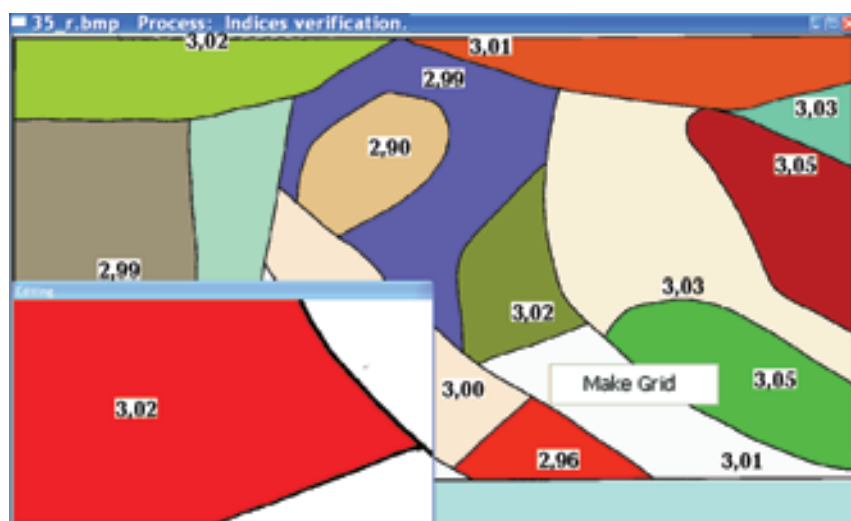


Рис. 5. Файл областей индексации.

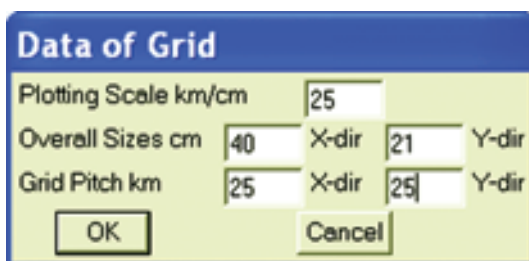


Рис. 6. Диалоговое окно ввода характеристик изображения.

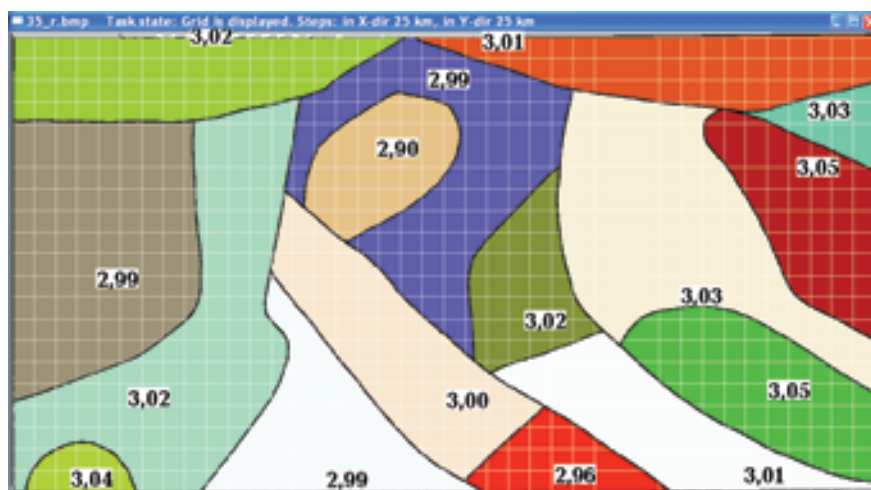


Рис. 7. Файл областей с их индексами и наложенной сеткой.

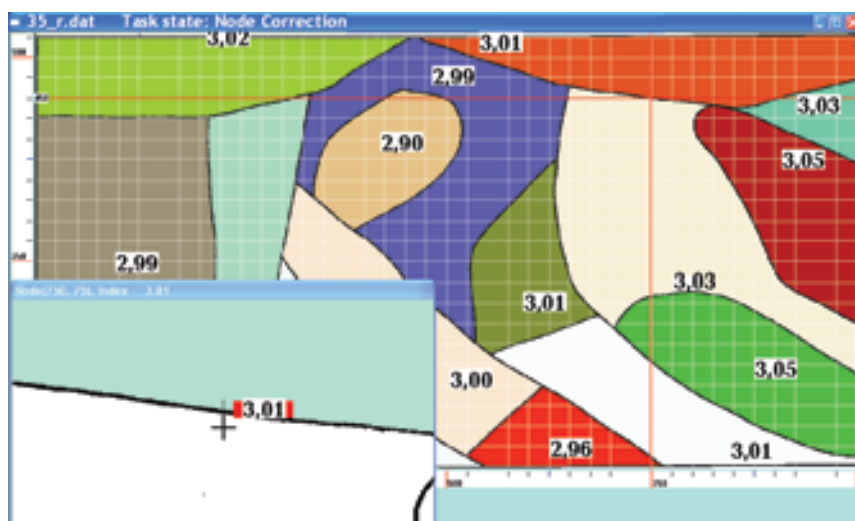


Рис. 8. Выбор узла, в котором необходима коррекция индекса.



Вначале программа ищет разрывы, отражает на экране монитора раскрашенный файл областей и отмечает их мерцанием красного и белого цветов. Для их устранения достаточно поместить курсор вблизи разрыва и нажать сначала Ctrl, а затем левую кнопку мыши. После этого в появившемся окне Editing необходимо выбрать пункт Draw Black Line и, начертив черную линию, разделить область на две, устранив тем самым разрыв (см. рис. 3).

Программа автоматически запишет исходное изображение (вместе с результатами редактирования) как новое изображение — модификацию текущего. Например, первая модификация исходного файла: 35\_r\_M01.bmp. Дальнейшая работа ведется с отредактированным изображением. Для этого повторно вызывается меню Draw Spaces. Программа отобразит на экране раскрашенные области и снова будет искать разрывы. Приняв решение, что на изображении устранены все разрывы, можно перейти к следующему этапу обработки — индексации областей.

**Индексацией областей** называется процесс присвоения каждой области некоторого числового значения (например, плотность пород данной области), который может быть выполнен оператором в трех режимах: 1) ввод индексов без прерывания рабочего процесса, 2) ввод индексов с прерыванием и восстановлением работы, 3) коррекция индексов. В первом случае после завершения ввода индексов автоматически формируется файл результата \*.ftr (file of temporary results). Во втором и третьем для сохранения внесенных изменений необходимо вызвать всплывающее меню, выбрать пункт Save Temporary и тем самым внести изменения в файл результата \*.ftr.

Процесс индексации начинается с вызова всплывающего меню и выбора пункта Indexing. При этом в заголовке окна появится сообщение о состоянии программы Process: Indexing. Программа в интерактивном режиме последовательно закрашивает каждую область в красный цвет, указывая тем самым на необходимость присвоения ей числового значения в соответствии с оригиналом исходных данных. Фрагмент индексации областей представлен на рис. 4, где голубым цветом окрашены ранее оцифрованные области, красным — текущая, синим — базовая (область, вокруг которой выбираются поочередно области для присвоения им индексов).

Для продолжения процесса индексации следует выбрать пункт Load Temporary в глав-

ном меню (см. рис. 1) и открыть промежуточный файл \*.ftr. Программа выведет на экран то состояние, при котором она была прервана. После завершения индексации всех областей на экране отобразится раскрашенный файл областей с введенными значениями индексов (рис. 5), а в заголовке появится сообщение Indices verification. Результаты индексации программа автоматически записывает в файл с расширением \*.flr (file of last results).

Программой предусмотрено редактирование значений индексов как во время процесса индексации, так и по его завершению. Для этого курсором выбирается необходимая область, которая высвечивается красным цветом в окне редактирования. Затем в ней вводится правка с последующим нажатием клавиши Enter (см. рис. 5).

**Построение сетки.** Для построения сетки необходимо выбрать пункт всплывающего меню Make Grid (см. рис. 5). В появившемся окне с заголовком Data of grid необходимо ввести следующие характеристики изображения: масштаб в км/см исходного изображения (Plotting Scale km/cm), размеры рисунка в см по осям  $X$  и  $Y$  (Overall Sizes cm), шаг сетки в км по осям  $X$  и  $Y$  (Grid Pitch km) (рис. 6). После этого необходимо нажать ОК.

Каждому узлу сетки присваивается значение индекса той области, в которую попадает этот узел (рис. 7). Начало координат находится в левом верхнем углу рамки изображения и имеет координату (0, 0). Ось  $X$  в этой точке направлена горизонтально вправо, а ось  $Y$  — вертикально вниз. После завершения работы программа автоматически сохраняет результаты в файл \*.dat после утвердительного ответа на вопрос "Save output data?"

**Коррекция индексов в узлах сетки.** Необходимость этой операции возникает в том случае, когда узел попадает на линию, разделяющую две или даже большее число областей. В качестве примера на рис. 8 в окне редактирования представлен случай, когда узел сетки, отмеченный перекрестием, находится в точке, расположенной на линии раздела, где соприкасаются две области.

С левой стороны файла программа рисует линейку координат по оси  $Y$  в км, а снизу — по оси  $X$  в км. Начало координат находится в левом нижнем углу изображения. При движении курсора мыши в области линейки программа высвечивает значение координаты при его попадании на деление линейки.

На рис. 8 показана коррекция узла сетки с координатами (750; 450), которому необходимо присвоить индекс соседней области. Коррекция начинается с запуска программы SpaceMap и выбора в главном меню пункта Node Correction (см. рис. 1). Новое значение индекса может принадлежать только области, которая примыкает к узлу сетки, поэтому для изменения его значения достаточно поместить курсор мыши в соседнюю область и нажать левую кнопку мыши. Индекс справа от перекрестия узла изменит свое значение. После завершения коррекции вызываем всплывающее меню "Save node correction?" и в случае утвердительного ответа программа запишет новый файл выходных данных с внесенными изменениями индексов в узлах сетки.

**Выводы.** 1. Результаты работы программы SpaceMap записываются в файл, который содержит исходные данные, непосредственно необходимые для решения задач геофизики. Результаты эти удобно также использовать при работе с самыми современными компьютер-

ными системами, активно применяемыми при интерпретации геолого-геофизических данных.<sup>1</sup>

2. Применение программы SpaceMap позволяет существенно сократить время и физические затраты при вводе геолого-геофизической информации в компьютер. Программа была успешно использована при построении трехмерных плотностных моделей Воронежского кристаллического массива (ВКМ) [Надежка и др., 2009], Днепровско-Донецкой впадины с прилегающими территориями южного склона Украинского щита и северного склона ВКМ и т. д.

3. Большое количество геолого-геофизической информации по-прежнему хранится на бумажных носителях. Программа SpaceMap позволяет создавать электронные базы данных.

Таким образом, программа SpaceMap является еще одним шагом в усовершенствовании автоматизированного ввода в компьютер изображений геологических и геофизических карт и построения их цифровых моделей.

## Список литературы

- Бычков С. Г. Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии. — Екатеринбург: Горный институт УрО РАН, 2010. — 188 с.
- Надежка Л. И., Дубянский А. И., Макаренко И. Б., Куприенко П. Я., Старостенко В. И., Легостаева О. В. Некоторые черты глубинного строения Украинского щита и Воронежского кристаллического массива // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: Пятое научные чтения памяти Ю. П. Булашевича (Екатеринбург, 6—10 июля 2009 г.). — Екатеринбург: Ин-т геофизики УО РАН, 2009. — С. 354—358.
- Петров А. В., Пискун П. В., Зиновкин С. В. Новые возможности компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа геоданных "КОСКАД-3Д" // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Матер. 32-й сессии Междунар. сем. им. Д. Г. Успенского. — Пермь: ГИ УрО РАН, 2005. — С. 219—221.
- 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: Матер. 35-й сессии Междунар. сем. им. Д. Г. Успенского (Ухта, 29 янв. — 3 фев. 2008 г.). — Ухта: УГТУ, 2008. — С. 271—274.
- 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. — 26, № 1. — С. 3—13.
- 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. — 19, № 1. — С. 3—13.

<sup>1</sup> Краткие сведения о таких системах, как, например, КОСКАД-3Д [Петров и др., 2005] и др., приведены в книге [Бычков, 2010, с. 4—5].

- 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. — **27**, № 2. — С. 195—207.
- Шлезингер М.И. Математические средства обработки изображений. — Киев: Наук. думка, 1989. — 200 с.
- Якимчик А.И. Технология оцифровки карт фактического материала на основе программного обеспечения MapInfo Professional и Corel-Draw // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 4. — С. 112—124.
- Bielik M., Makarenko I., Starostenko V., Legostaeva O., Dererova J., Shefara J., Pasteka R. New 3D gravity modeling in the Carpathian-Pannonian basin region // Contrib. Geophys. Geodesy. — 2005. — **35/1**. — P. 65—78.
- Dirkzwager J. B., Stephenson R. A., Legostaeva O. V. The pre-Permian residual gravity field for the Dutch onshore and adjacent offshore // Global Planet. Change. — 2000. — **27**. — P. 53—66.
- Gao D. 3D seismic volume visualization and interpretation: An integrated workflow with case studies // Geophysics. — 2009. — **74**, № 1. — P. W1—W12.
- McArthur E., Weiss R., Yuen D., Knox M. WebViz: A web-based collaborative interactive visualization system for largescale data sets // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 4. — С. 215—216.
- Szalaiová E., Bielik M., Makarenko I., Legostaeva O., Hók J., Starostenko V., Šujan M., Šefara J. Calculation of a stripped gravity map with a high degree of accuracy: a case study of Liptovská Kotlina Basin (Northern Slovakia) // Geological Quarterly. — 2008. — **52**, № 2. — P. 103—114.
- Weiss R., McLane J., Yuen D. A., Wang S. M. Interactive visualization system: a distributed multiuser web application using the Google Web Toolkit framework // Междунар. конф. "Вычислительная геодинамика и мантийные неустойчивости". Россия, Суздаль, 18—23.8.2009. — Москва: ИФЗ РАН, 2009. — С. 163.