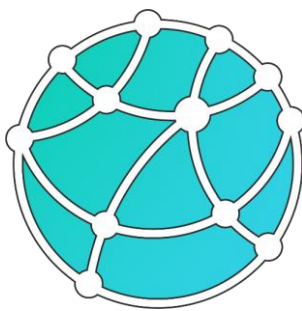




GravMagInv2D – руководство пользователя



Оглавление

Введение	5
Список сокращений и терминов	7
1 Требования к системе и технические характеристики	8
2 Установка, обновление и запуск	9
3 Интерфейс	11
4 Теория	12
5 Типы данных	14
5.1 Сеточные модели	14
5.2 Разрезы	14
5.3 Блоки	14
5.4 Рельеф	15
5.5 Поля	15
5.6 Точки наблюдения	15
5.7 Карты	15
5.8 Координаты профиля	15
5.9 Дополнительные данные	15
5.10 Априорные линии	16
5.11 Точки	16
5.12 Изображение	16
6 Создание и редактирование моделей и данных	17
6.1 Загрузка, сохранение и удаление данных	17
6.2 Ручное создание данных и моделей	21
6.2.1 Блочные модели	21
6.2.2 Сеточные модели	23
6.3 Редактирование данных и моделей	24
6.3.1 Интерполяция и экстраполяция	24



6.3.2	Задание координат углов	25
6.3.3	Ремасштабирование	25
6.3.4	Интерактивное редактирование блочных моделей.....	26
6.3.5	Интерактивное редактирование сеточных моделей	27
6.4	Математические операции с 2D гридами	28
6.4.1	Калькулятор 2D разрезов.....	28
6.4.2	Калькулятор 2D сеточных моделей.....	30
6.4.3	Арифметические операции с моделью из файла.....	31
6.4.4	Производные	31
6.4.5	Сглаживание	31
6.4.6	Послойный уровень.....	32
6.4.7	Пересчет Скорость-Плотность	32
6.4.8	Пересчет намагниченность $\leftrightarrow$ магнитная восприимчивость	34
6.4.9	Статистика.....	35
7	Настройка и оформление данных	36
7.1	Настройки вычислений	36
7.2	Общие настройки вида	36
7.3	Блоки	37
7.4	Сеточные модели и разрезы.....	38
7.5	Рельеф	38
7.6	Поля.....	39
7.7	Точки наблюдения	39
7.8	Карты.....	39
7.9	Дополнительные данные	40
7.10	Априорные линии.....	40
8	Локализация особых точек	41
8.1	Поиск экстремумов по разрезам.....	41
8.2	Вейвлет-анализ.....	42



8.3	Деконволюция Эйлера.....	44
9	Прямая и обратная задача гравиразведки и магниторазведки	46
9.1	Настройки прямой и обратной задачи	46
9.2	Параметры нормального магнитного поля.....	46
9.3	Прямая задача.....	46
9.3.1	Блочные модели.....	46
9.3.2	Сеточные модели.....	47
9.3.3	Увязка полей	48
9.4	Обратная задача	49
9.4.1	Блочные модели.....	50
9.4.2	Сеточные модели.....	50
9.4.3	Учет априорных данных	53
9.5	Совместная инверсия данных гравиразведки и магниторазведки	54
10	Форматы данных	56
10.1	Используемые форматы.....	56
10.2	Описание внутренних форматов.....	57
10.2.1	Блочные модели.....	57
10.2.2	Поля, рельеф, точки наблюдения и дополнительные данные	57
10.2.3	Априорные линии.....	58
10.2.4	Точки	58



Введение

Программный модуль GravMagInv2D является частью программного комплекса GravMagInv и предназначен для решения двумерной прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки для блочных (полигональных) и сеточных (грид) моделей. В программе используются следующие единицы измерения:

Физическая величина	Единица измерения
Дистанция и глубина	метры
Аномалии силы тяжести	мГал (по умолчанию) и мкГал
Аномалии магнитного поля	нТл
Плотность	г/см ³
Намагниченность	А/м
Магнитная восприимчивость	10 ⁻⁵ ед. СИ
Склонение и наклонение	градусы
Скорости упругих волн	м/с

Решение прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки возможно на горизонтальной и произвольной поверхности (точки наблюдения) для всех типов моделей.

Координаты сетки сеточных моделей задают координаты середины верхнего ребра каждой ячейки.

Обратите внимание, что **вертикальная ось (ось глубин)** в программе **направлена вниз**, за исключением случая задания высоты расчета прямой задачи (опция «Прямая задача – Высота расчета»). При задании высоты расчета прямой задачи используйте положительные значения, если точки расчета находятся выше нулевой отметки и отрицательные, если расчетные точки находятся ниже нулевой отметки (то есть ось высот смотрит вверх).

Также отдельно отметим, что при работе с блочными (полигональными) моделями вектор намагниченности тел задается через индуцированную и остаточную



намагниченность, а при работе с сеточными моделями вектор намагниченности задается напрямую, т.е. не разделяется на две компоненты.

Любые вопросы по работе в программном обеспечении можно задавать на сайте www.gravmaginv.ru.



Список сокращений и терминов

ЛКМ – левая кнопка мыши

ПКМ – правая кнопка мыши

σ - плотность

J – модуль намагниченности

D – склонение

i – наклонение

V_p – скорость продольных волн

V_s – скорость поперечных волн

R - регуляризатор

Грид – набор данных, представленный в виде множества ячеек прямоугольной формы и одинакового размера (сеточная модель или разрез).



1 Требования к системе и технические характеристики

Минимальные системные требования GravMagInv:

- Процессор: Intel Core i3 6 поколения / AMD Athlon X4 880K
- Оперативная память: 8 Гб
- Место на диске (без учета памяти, требуемой для хранения данных и проектов)::
1 Гб
- Операционная система: Windows 10 / Windows 11
- Разрядность системы: 64 бит.

В случае работы с детальными плотностными и магнитными моделями, разбитыми на большое количество ячеек, может потребоваться более современный процессор, большее количество оперативной памяти и места на диске. Для хранения одной ячейки данных требуется не менее 8 байт. При решении обратной задачи гравirazведки и/или магниторазведки для каждой ячейки модели дополнительно требуется не менее 32 байт оперативной памяти.

Для работы с GravMagInv2D не требуется подключение к интернету, поскольку программа не передает никаких данных через интернет. Также GravMagInv2D не открывает никаких портов, поскольку в этом нет необходимости для работы программы. Запись лог-файлов в GravMagInv2D также не предусмотрена.



2 Установка, обновление и запуск

Программный модуль GravMagInv2D устанавливается путем запуска соответствующего исполняемого файла (названия исполняемых файлов обычно имеют следующую структуру: “Installer имя_модуля версия”).

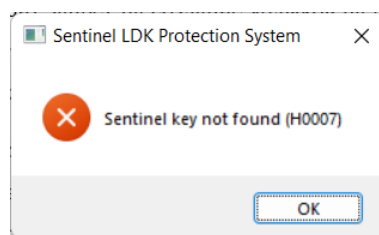
По ходу установки модуля необходимо:

- выбрать директорию для установки (рекомендуется выбирать директории, не содержащие никаких файлов);
- выбрать устанавливаемые компоненты (в списке компонент будет устанавливаемый модуль, необходимо установить «галочку» слева от названия модуля)
- прочитать лицензионное соглашение, приведенное на двух языках: русском и английском. При согласии с лицензионным соглашением нажать «Я согласен(а) с лицензией» и продолжить установку;
- выбрать наименование папки в меню «Пуск», в которой будут доступны ярлыки устанавливаемого ПО;
- после выполнения всех вышеперечисленных пунктов запустить процесс установки и нажать «Готово» после завершения установки.

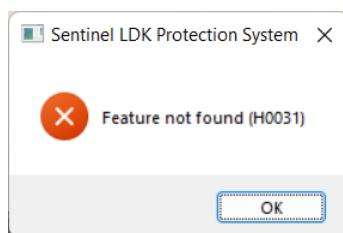
После установки на рабочем столе пользователя должна появиться ярлык GravMagInv2D, с помощью которого можно запустить приложение. В случаях, когда в настройках системы стоит запрет на создание ярлыков на рабочем столе, ярлык создан не будет. Приложение также можно запустить с помощью исполняемого файла GravMagInv2D.exe, который будет создан в директории установки.

Обновление GravMagInv2D осуществляется путем удаления старой версии программы и установки новой версии с помощью соответствующего исполняемого файла (установщика), передаваемого производителем после выхода новой версии. Автоматическое обновление программы через интернет не предусмотрено.

При работе с коммерческими версиями программы («Базовая» и «Расширенная» версии) требуется электронный USB-ключ, который поставляется вместе с установщиками коммерческих версий. Для работы USB-ключа не требуется установка дополнительных драйверов. Если электронный ключ отсутствует, то при запуске коммерческих версий программы будет возникать следующая ошибка:



В случаях, когда присутствует USB-ключ с лицензией на другие версии ПО, входящие в состав GravMagInv или других приложений производителя, но не содержащий лицензию на запускаемую версию, возникнет следующая ошибка:



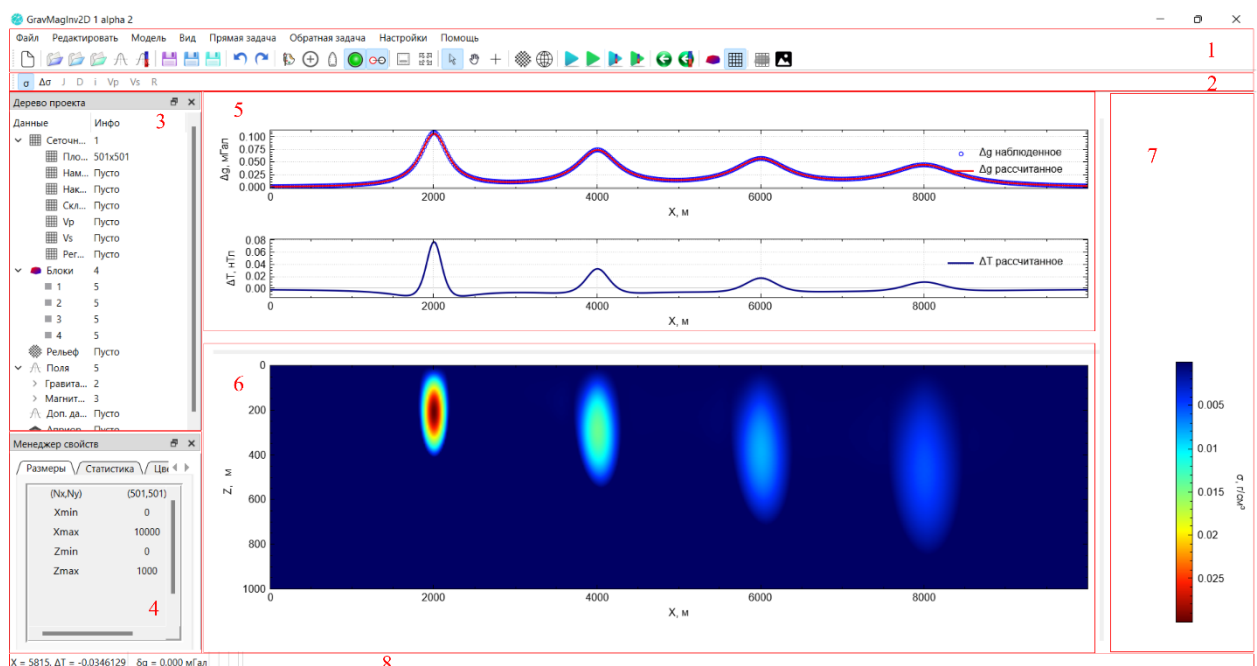
Если же при запуске приложения в одном из USB-портов компьютера присутствует USB-ключ, содержащий корректную лицензию, приложение запустится без дополнительных сообщений.



3 Интерфейс

Основное окно приложения GravMagInv2D содержит следующие элементы:

- 1) Меню и панель инструментов, на которую вынесены основные опции из меню;
- 2) Панель выбора типа сеточной модели;
- 3) Дерево проекта, в котором отображается информация о всех загруженных данных в проект. Также через дерево проекта можно импортировать и удалять данные путем нажатия правой кнопкой мыши по соответствующему элементу дерева проекта;
- 4) Менеджер свойств, в котором отображается информация и свойства объекта, активированного через дерево проекта. Редактируемые свойства объектов можно изменять через дерево проекта;
- 5) Окна с графиками наблюдаемого и рассчитанного гравитационного поля (верхнее окно) и магнитного поля (нижнее окно). Также в этих окнах могут отображаться дополнительные данные, если они загружены в проект;
- 6) Окно с моделями. В данном окне отображаются блочные и сеточные модели;
- 7) Область, в которой отображаются оси для дополнительных данных (если они есть в проекте) и цветовая шкала (если в окне с моделью визуализируется сеточная модель);
- 8) Строка состояния, в которой отображается информация о положении курсора мыши и невязке между рассчитанным и наблюдаемым полем.



Интерфейс программы GravMagInv2D



4 Теория

При решении прямой задачи гравиразведки вычисляется вертикальная компонента силы тяжести (принятые обозначения V_z или Δg). При решении прямой задачи магниторазведки вычисляются горизонтальная компонента (ΔX , проекция вдоль линии профиля), вертикальная компонента (ΔZ), а также аномалии модуля индукции магнитного поля (ΔT).

Прямая задача гравиразведки и магниторазведки для блочных моделей решается аналитически с применением теории функции комплексной переменной [Булычев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М. Прямая задача гравиразведки и магниторазведки (конспект лекций). М.: “Университетская книга”, 2019. 176 с.]. Аномалии модуля вектора индукции магнитного поля определяются по формуле:

$$\Delta T = \sqrt{(X + \Delta X)^2 + Y^2 + (Z + \Delta Z)^2} - T,$$

где X , Y , Z , T – соответствующие компоненты вектора индукции нормального магнитного поля (ось X считается направленной вдоль профиля), ΔX и ΔZ – компоненты аномальной составляющей вектора индукции магнитного поля.

Прямая задача гравиразведки и магниторазведки для ячеек сеточной модели решается аналогично. При построении сеточных моделей, координаты сетки задают середины верхнего ребра каждой ячейки. Решение прямой задачи для сеточных моделей на горизонтальной поверхности выполняется в точках, горизонтальные координаты которых совпадают с координатами горизонтального разбиения сеточной модели. Решение прямой задачи на произвольной поверхности (точках наблюдения) выполняется непосредственно в заданных координатах.

Для учета краевых эффектов при работе с сеточной моделью, плотностная и магнитная модель продлеваются за пределы профиля в каждую сторону на 50 длин сеточной модели. Автоматический учет краевых эффектов для полигональной модели не предусмотрен, однако каждый блок можно расширить влево/вправо/в обе стороны с помощью нажатия правой кнопки мыши по блоку и выбора соответствующего пункта из меню «Расширить блок». При использовании данной опции горизонтальные координаты вершин левой и/или правой границы блока будут изменены на -10^9 и 10^9 м соответственно.

Обратная задача (инверсия) гравиразведки и магниторазведки решается путем минимизации функционала невязки L методом градиентного спуска:



$$L = \sum_{i=1}^N (calc_i - obs_i)^2 \rightarrow \min ,$$

где $calc_i$ – значение рассчитанного поля в i -й точке, obs_i – значение наблюдаемого поля в i -й точке, N – количество точек.

При решении обратной задачи гравиразведки и магниторазведки точки, в которых задано наблюдаемое поле, и точки, в которых производится решение прямой задачи, должны совпадать.



5 Типы данных

5.1 Сеточные модели

Сеточные модели («гриды») – модели, разбитые на множество ячеек прямоугольной формы и одинакового размера. В программе имеется 7 видов сеточных моделей: плотность, намагниченность, склонение, наклонение, скорости продольных волн (V_p), скорости поперечных волн (V_s) и регуляризатор. **Плотностная сеточная модель** используется для решения прямой и обратной задачи гравиразведки. **Сеточные модели намагниченности, склонения и наклонения** используются при решении прямой и обратной задачи магниторазведки. **Сеточные модели V_p и V_s** могут использоваться совместно с остальными моделями для математических преобразований, а также для конвертации в плотностную модель. **Регуляризатор** используется при решении обратной задачи гравиразведки и магниторазведки для регулирования процесса подбора (области с большими значениями регуляризатора меняются сильнее, с малыми значениями – слабее).

5.2 Разрезы

Разрезы – сеточные разрезы, которые могут быть использованы для хранения промежуточных результатов сеточного моделирования, математических преобразований сеточных моделей, а также для хранения сеточных моделей, не относящихся к семи основным категориям (см. описание сеточных моделей в предыдущем абзаце). Разрезы также представляют собой сеточные модели («гриды»), т.е. представляют собой равномерно распределенные значения по горизонтальной и вертикальной оси.

5.3 Блоки

Блоки – геометрические объекты (многоугольники), на которые разбивается модель. Блоки могут использоваться при блочном моделировании (решении прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки), а также при сеточном моделировании для фиксации областей сеточной модели, подбора латерального распределения плотности и намагниченности, поблочной конвертации скоростных моделей в плотностные и др. Каждый блок имеет следующие свойства: плотность, модуль индуцированной намагниченности, модуль остаточной намагниченности, склонение и наклонение остаточной намагниченности, имя, цвет.



5.4 Рельеф

Рельеф – набор положений точек поверхности дневного рельефа или поверхности наблюдения. Рельеф задается набором пар координат (пикет, глубина). Рельеф может использоваться для обрезки сеточных моделей при визуализации и моделировании.

5.5 Поля

Поля – наблюдаемые и рассчитанные аномалии гравитационного и магнитного поля. При работе с блочными моделями или при сеточном моделировании на произвольной поверхности (точках наблюдения) поля могут задаваться с произвольным шагом по профилю. При сеточной инверсии по полю, заданному на горизонтальной поверхности, происходит автоматический пересчет наблюдаемого поля к горизонтальным координатам узлов сетки модели для ускорения процесса вычислений.

5.6 Точки наблюдения

Точки наблюдения – набор координат точек, в которых задано наблюдаемое поле и в которых решается прямая задача, если точки наблюдения выбраны в качестве поверхности расчета в настройках проекта.

5.7 Карты

Карты – площадные данные, которые могут использоваться при качественном анализе в ходе моделирования. Если в проект загружены координаты профиля (см. ниже), на открытых в новых окнах картах отображается положение профиля серой линией. При перемещении курсора мыши по окну с моделью или окнам с полями, на открытых картах перемещается красная точка, показывающая положение курсора на карте.

5.8 Координаты профиля

Координаты профиля – набор пар координат (x, y) , задающих положение профиля в пространстве. Координаты профиля используются в паре с картами для визуализации положения профиля на изображениях различных площадных данных, а также для снятия значений с площадных данных в точках профиля.

5.9 Дополнительные данные

Дополнительные данные – набор профильных данных, которые используются для отображения в виде графиков вместе с графиками полей, а также для подстановки в качестве наблюдаемых полей при моделировании и сохранения промежуточных наблюдаемых и рассчитанных полей.



5.10 *Априорные линии*

Априорные линии – информация о положении объектов, которые изображаются в виде линий на разрезе (в окне с моделью). В качестве априорных линий могут загружаться глубины границ, разломы, скважины и др.

5.11 *Точки*

Точки – объекты, которые могут использоваться для визуализации на разрезах. Основное назначение точек при интерпретации данных гравirazведки и магниторазведки – локализация особых точек (например, центров масс аномалообразующих объектов), однако точки также можно использовать для указания местоположения любых интересующих объектов (например, эпицентров землетрясений).

5.12 *Изображение*

Изображение – растровое изображение (PNG или JPEG), которое может визуализироваться в окне с разрезом для использования в качестве подложки при рисовке блочной или сеточной модели.



6 Создание и редактирование моделей и данных

Для начала работы с данными гравиразведки и магниторазведки в GravMagInv2D необходимо создать пустой проект или загрузить уже существующий. Для создания нового проекта необходимо использовать опцию «Файл – Новый проект». После нажатия на данную кнопку появится окно для ввода размеров окна, в данном окне можно ввести произвольные координаты, которые в дальнейшем могут быть изменены.

6.1 Загрузка, сохранение и удаление данных

Все данные, загруженные в проект, можно сохранить в единый бинарный файл проекта GMI2Dproj (формат GravMagInv) с помощью опции «Файл – Сохранить – Проект». Если проект уже был сохранен, то повторный вызов данной опции перезаписывает созданный ранее файл проекта. Для сохранения проекта в новый файл необходимо использовать функцию «Файл – Сохранить как». Открыть сохраненный ранее проект можно с помощью опции «Файл – Открыть – Проект». Очистить все данные, загруженные в программу и создать новый проект можно с помощью опции «Файл – Новый проект».

В таблице ниже приведен список опций и путь их вызова для **загрузки** данных:

<i>Тип данных</i>	<i>Способы загрузки</i>
Проект	Меню «Файл – Открыть – Проект»
Блоки (полигоны)	Меню «Файл – Открыть – Полигональная модель» Меню «Файл – Открыть – Импорт горизонтов» Правая кнопка мыши (ПКМ) на пункте «Блоки» в дереве проекта – Открыть или Импорт горизонтов.
2D сеточная модель (плотность, намагниченность, склонение, наклонение, V_p , V_s , регуляризатор)	Меню «Файл – Открыть – Грид» Правая кнопка мыши (ПКМ) на соответствующем пункте во вкладке «Сеточные модели» в дереве проекта – Открыть.
Разрез (2D сеточный разрез)	ПКМ на вкладке «Разрезы» в дереве проекта - Открыть



Наблюдаемые поля (Δg , ΔT , ΔX , ΔZ)	Меню «Файл – Открыть – Наблюдаемое поле» ПКМ на соответствующем пункте во вкладке «Поля – Гравитационное поле/Магнитное поле» в дереве проекта – Открыть
Рельеф	Меню «Файл – Открыть – Рельеф» ПКМ на вкладке «Рельеф» в дереве проекта – Открыть Также рельеф импортируется автоматически при загрузке SEG-Y файла в качестве сеточной модели, если у него заполнен заголовок (RGE, CDP-X и CDP-Y).
Карты	ПКМ на вкладке «Карты» в дереве проекта - Открыть
Координаты профиля	Меню «Файл – Открыть – Координаты профиля» ПКМ на вкладке «Координаты профиля» в дереве проекта – Открыть Также координаты профиля импортируются автоматически при загрузке SEG-Y файла в качестве сеточной модели, если у него заполнены заголовки (CDP-X и CDP-Y).
Дополнительные данные	Меню «Файл – Открыть – Дополнительные данные» ПКМ на вкладке «Дополнительные данные» в дереве проекта – Добавить данные Если в проект загружены карты и координаты профиля, то дополнительные данные можно снять с карты с помощью нажатия ПКМ по соответствующей карте – Срез по профилю.
Априорные линии	Меню «Файл – Открыть – Априорные линии» ПКМ на вкладке «Априорные линии» в дереве проекта – Открыть



Изображение	Меню «Файл – Открыть – Изображение» ПКМ на вкладке «Изображение» в дереве проекта - Открыть
-------------	---

В таблице ниже приведен список опций и путь их вызова для **сохранения** данных:

<i>Тип данных</i>	<i>Способы сохранения</i>
Проект	Меню «Файл – Сохранить – Проект» (для сохранения нового проекта или перезаписи существующего) Меню «Файл – Сохранить как» (для сохранения под новым именем)
Блоки (полигоны)	Меню «Файл – Сохранить – Полигональная модель»
2D сеточная модель (плотность, намагниченность, склонение, наклонение, V_p , V_s , регуляризатор)	Меню «Файл – Сохранить – Текущий грид» (предварительно нужно включить визуализацию сохраняемой модели) Правая кнопка мыши (ПКМ) на соответствующем пункте во вкладке «Сеточные модели» в дереве проекта – Сохранить.
Разрез (2D сеточный разрез)	Меню «Файл – Сохранить – Текущий грид» (предварительно нужно включить визуализацию сохраняемого разреза) Правая кнопка мыши (ПКМ) на соответствующем пункте во вкладке «Сеточные модели» в дереве проекта – Сохранить.
Наблюдаемые и рассчитанные поля (Δg , ΔT , ΔX , ΔZ)	Меню «Файл – Сохранить – Наблюдаемое/Рассчитанное поле» ПКМ на соответствующем пункте во вкладке «Наблюдаемые поля – Гравитационное поле/Магнитное поле» в дереве проекта – Открыть



Рельеф	ПКМ на вкладке «Рельеф» в дереве проекта – Сохранить
Карты	ПКМ на соответствующей карте во вкладке «Карты» в дереве проекта - Сохранить
Координаты профиля	Меню «Файл – Сохранить – Координаты профиля» ПКМ на вкладке «Координаты профиля» в дереве проекта – Сохранить
Дополнительные данные	ПКМ на соответствующих данных во вкладке «Дополнительные данные» в дереве проекта - Сохранить
Априорные линии	ПКМ на вкладке «Априорные линии» в дереве проекта – Сохранить

В таблице ниже приведен список опций и путь их вызова для **удаления** данных из проекта:

<i>Тип данных</i>	<i>Способы удаления / очистки</i>
Очистка всех данных	Меню «Файл – Новый проект» Меню «Редактировать – Удалить – Все»
Блоки (полигоны)	Меню «Редактировать – Удалить – Блоки» ПКМ на вкладке «Блоки» в дереве проекта – Удалить»
2D сеточная модель (плотность, намагниченность, склонение, наклонение, V_p , V_s , регуляризатор)	ПКМ на соответствующей модели во вкладке «Сеточные модели» в дереве проекта – Удалить»
Разрез (2D сеточный разрез)	ПКМ на соответствующем разрезе во вкладке «Разрезы» в дереве проекта – Удалить»



Наблюденные и рассчитанные поля (Δg , ΔT , ΔX , ΔZ)	ПКМ на соответствующем поле во вкладке «Поля» в дереве проекта – Удалить
Рельеф	ПКМ на вкладке «Рельеф» в дереве проекта – Удалить
Карты	ПКМ на соответствующей карте во вкладке «Карты» в дереве проекта - Удалить
Координаты профиля	ПКМ на вкладке «Координаты профиля» в дереве проекта – Удалить
Дополнительные данные	ПКМ на соответствующих данных во вкладке «Дополнительные данные» в дереве проекта – Удалить
Априорные линии	ПКМ на вкладке «Априорные линии» в дереве проекта – Удалить

6.2 Ручное создание данных и моделей

6.2.1 Блочные модели

Двумерные блочные модели в GravMagInv2D можно загружать из файла, либо создавать непосредственно в программе. Перед созданием блочной модели необходимо убедиться, что активен режим работы с блоками (иконка  на панели инструментов). Чтобы добавить новый блок необходимо нажать ПКМ по окну с моделью и выбрать пункт «Нарисовать блок». Далее курсор мыши изменится на окружность с двумя пересекающимися линиями («прицел»), вершины полигона добавляются с помощью нажатия левой кнопкой мыши по окну с моделью. Если активен режим совмещения точек (иконка  на панели инструментов) и в «прицел» попадает какая-либо вершина одного из существующих блоков, то новая вершина будет иметь координаты существующей точки, в противном случае новая вершина будет добавлена в центр «прицела». Завершение рисовки блока осуществляется двойным нажатием ЛКМ, при этом новая точка в месте нажатия не добавляется, а блок замыкается автоматически. Чтобы отменить рисовку блока нажмите клавишу Esc.



Каждому блоку можно задать значения плотности и намагниченности. Это можно сделать либо с помощью окна параметров многоугольника (открывается путем нажатия ПКМ по соответствующему блоку в окне с моделью и выбора пункта «Свойства», либо с помощью двойного нажатия ЛКМ по соответствующему блоку в дереве проекта), менеджера свойств (нажатие ЛКМ по блоку в дереве проекта и выбор вкладки «Свойства» в менеджере свойств), либо с помощью таблицы блоков (меню «Модель – Блоки – Таблица»).

Плотность блоков можно задать двумя способами: постоянным значением или линейным законом. Задание линейного закона изменения плотности возможно только в окне параметров многоугольника. Задать линейный градиент плотности можно либо по трем точкам (в таком случае необходимо указать координаты точек и значения плотности в них), либо линейным уравнением от координат.

Намагниченность блока можно задать только константой, при этом можно отдельно задать индуцированную и остаточную намагниченность.

Также при создании и редактировании блоков можно использовать сеточную модель/разрез или изображение в качестве подложки. Включение подложки осуществляется с помощью иконок  (сеточная модель или разрез) и  (изображение) на панели инструментов.

Возможности для редактирования геометрии блоков рассмотрены в разделе [6.3.4](#).



Индукционную намагниченность можно задать либо через значение модуля индуцированной намагниченности, либо через магнитную восприимчивость. Остаточная намагниченность задается путем введения модуля остаточной намагниченности, а также склонения и наклона вектора остаточной намагниченности. Задание намагниченности через дерево проекта и менеджер свойств осуществляется аналогично.

Важно отметить, что в GravMagInv2D допускается пересечение блоков. В этом случае в области пересечения их свойства будут складываться, т.е. если оба блока имеют плотность 1 г/см^3 , то область их пересечения будет иметь плотность 2 г/см^3 (аналогично происходит и с намагниченностью). Для корректного моделирования рекомендуется устранять пересечения между блоками, для этого в GravMagInv2D реализована автоматическая функция, которая вызывается путем нажатия правой кнопкой мыши по элементу «Блоки» в дереве проекта и выбора пункта «Убрать пересечения».

6.2.2 Сеточные модели

Двумерные сеточные модели в GravMagInv2D можно загружать из файла, либо создавать непосредственно в программе. Создание сеточной модели в проекте возможно следующими путями:

- Конвертация блочной модели в сеточную (меню «Модель – Блоки – Конвертировать в грид»). После нажатия соответствующего пункта меню, откроется окно для ввода параметров разбиения сеточной модели (минимальные и максимальные координаты и шаг по каждой оси). После конвертации в проекте создаются сеточные



модели плотности, модуля полного вектора намагниченности, склонения и наклона полного вектора намагниченности, заполненные исходя из свойств блоков.

- Создание пустой сеточной модели (меню «Модель – Грид – Создать пустой грид» или нажатие ПКМ по соответствующей сеточной модели в дереве проекта и выбор пункта «Создать»). При создании пустой сеточной модели также необходимо указать параметры разбиения, после чего будет создана модель, заполненная нулевыми значениями. При создании сеточной модели модуля намагниченности автоматически создаются модели склонения и наклона, которые по умолчанию заполняются склонением и наклоном нормального магнитного поля.

Возможности для редактирования сеточных моделей и разрезов рассмотрены в разделе 6.3.56.3.4.

6.3 Редактирование данных и моделей

6.3.1 Интерполяция и экстраполяция

У сеточных моделей, разрезов, наблюдаемых полей и рельефа, имеющих в проекте, можно менять параметры сетки (т.е. минимальные и максимальные координаты и шаг). Опции для изменения параметров сетки соответствующих данных приведены в таблице ниже:

<i>Данные</i>	<i>Вызов опции изменения сетки</i>
Сеточные модели	Меню «Редактировать – Грид – Регрид» ПКМ в дереве проекта на вкладке «Сеточные модели» - Регрид (для изменения параметров всех сеточных моделей одновременно) ПКМ в дереве проекта на соответствующем элементе во вкладке «Сеточные модели» - Регрид (для изменения параметров конкретной сеточной модели)
Разрезы	ПКМ в дереве проекта на соответствующем элементе во вкладке «Разрезы» - Регрид
Наблюдаемые поля	Меню «Редактировать – Наблюдаемое поле – Интерполировать»



Рельеф	ПКМ в дереве проекта на вкладке «Рельеф» - Интерполировать
Точки наблюдения	ПКМ в дереве проекта на вкладке «Точки наблюдения» - Интерполировать

Для каждой ячейки данных с новыми параметрами разбиения значение определяется с помощью линейной интерполяции для одномерных данных (поля и рельеф) и билинейной интерполяции для двумерных данных (сеточные модели и разрезы). Продление данных за изначальные пределы осуществляется путем продления соответствующего ряда или столбца ячеек.

6.3.2 Задание координат углов

В случаях, когда импортированная сеточная модель или разрез имеет некорректные координаты (например, если они неправильно заполнены в импортируемом файле), координаты углов модели можно задать вручную. Задать координаты видимой сеточной модели или разреза можно с помощью опции «Редактировать – Грид – Границы грида». В появившемся окне необходимо указать минимальную и максимальную координату по каждой оси. После выбора координат модель растянется или сожмется под заданные координаты без изменения количества ячеек и значений физического свойства в ячейках. Данная операция применяется к активному (видимого) в данный момент гриду (сеточной модели или разрезу).

6.3.3 Ремасштабирование

Если координаты импортированной сеточной модели или разреза заданы не в метрах, то их можно перевести в метры с помощью опции «Редактировать – Грид – Ремасштабировать». В появившемся окне необходимо ввести масштабные коэффициенты для каждой оси, а также выбрать один или несколько типов сеточных моделей, к которым необходимо применять ремасштабирование. Координаты умножаются на соответствующие коэффициенты

Ремасштабирование осуществляется для активного (видимого) в данный момент грида (сеточной модели или разреза).



6.3.4 Интерактивное редактирование блочных моделей

Ручное создание блоков рассмотрено в разделе [6.2.1](#).

Существующие блоки можно редактировать, в GravMagInv2D имеются следующие возможности для редактирования геометрии блоков:

- Изменение положение вершины – чтобы положение вершины, необходимо зажать на ней ЛКМ и далее перемещать курсор мыши.

- Изменение положения нескольких совмещенных вершин – чтобы изменить положение точек нескольких блоков, имеющих одинаковые координаты, необходимо зажать клавишу Shift и далее зажать ЛКМ на соответствующих вершинах и перемещать курсор мыши.

- Удаление вершины – чтобы удалить вершину, необходимо нажать по ней ЛКМ и далее нажать клавишу Del.

- Задание вершине (или совмещенным вершинам) координат вручную – чтобы задать координаты вершине, необходимо нажать по ней два раза ЛКМ и далее ввести координаты в поле для ввода.

- Перенос блока – чтобы перенести блок без изменения его формы, необходимо зажать на блоке ЛКМ и далее перемещать курсор мыши. Перенос блоков возможен только при включенном режиме перемещения блоков (иконка  на панели инструментов – блоки переносить можно, иконка  - блоки переносить нельзя).

- Копирование и вставка блока – чтобы скопировать блок, необходимо активировать блок нажатием ЛКМ по нему и далее нажать сочетание клавиш Ctrl + C. Для вставки скопированного блока в модель необходимо нажать сочетание клавиш Ctrl + V.

- Удаление блока - чтобы удалить блок, необходимо активировать блок нажатием ЛКМ по нему и далее нажать клавишу Del. Также удалить блок можно с помощью дерева проекта – для этого необходимо нажать по соответствующему блоку в дереве проекта ПКМ и выбрать пункт «Удалить».

- Объединение блоков с общими ребрами – чтобы объединить несколько блоков, имеющих общие ребра, необходимо сначала выделить эти блоки нажатиями ЛКМ с зажатой клавишей SHIFT, далее нажать ЛКМ по одному из выбранных блоков и выбрать пункт



«Объединить полигоны». Если блоки не имеют общих ребер, то объединение может происходить некорректно.

6.3.5 Интерактивное редактирование сеточных моделей

Имеющиеся в проекте GravMagInv2D сеточные модели и разрезы можно вручную редактировать. В программе реализованы следующие способы редактирования сеточных моделей и разрезов:

- Заполнение плотностной и/или магнитной модели свойствами блоков – если в проекте есть сеточная модель плотности и/или намагниченности (+ склонение и наклонение), то ячейки, попадающие в какой-либо блок, можно заполнить значениями с этого блока. Для этого необходимо включить визуализацию блоков, нажать ПКМ по соответствующему блоку и выбрать пункт «Заполнить грид».

- Добавление к сеточной плотностной и/или магнитной модели свойств блоков - если в проекте есть сеточная модель плотности и/или намагниченности (+ склонение и наклонение), то к плотности и модулю намагниченности ячеек, попадающих в какой-либо блок, можно прибавить значения плотности и модуля полного вектора намагниченности с этого блока. Для этого необходимо включить визуализацию блоков, нажать ПКМ по соответствующему блоку и выбрать пункт «Добавить к гриду».

- Ручное интерактивное редактирование активной (видимой) сеточной модели или разреза. Для ручного редактирования модели необходимо предварительно включить визуализацию соответствующей сеточной модели или разреза и далее включить режим редактирования («Модель – Грид – Редактировать» или иконка  на панели инструментов).

При активации режима ручного редактирования грида ниже панели инструментов появляются поля для ввода заполняемого значения и «ширины окна», а курсор мыши меняется на «прицел». Радиус прицела можно изменять с помощью нажатий клавиш «+» и «-» на клавиатуре. Ручное редактирование гридов возможно в трех вариантах:

- Заполнение грида постоянным значением. Чтобы заполнить некоторую область грида постоянным значением, введите это значение в поле для ввода на панели инструментов, далее нажмите ЛКМ и перемещайте курсор мыши.

- Прибавление к гриду гладкого распределения значений. Чтобы включить данный вариант заполнения грида, необходимо активировать иконку  после включения режима редактирования грида. После активации иконки, станет доступен ввод «Ширины окна»,



которая регулирует степень затухания добавочных значений по функции Гаусса при удалении от центра окружности «прицела». Чем больше значения ширины окна, тем медленнее будет происходить затухание. Величина ширины окна равна относительному видимому удалению (т.е. расстояние от центра «прицела» до точки в пикселях, деленное на радиус «прицела» в пикселях), на котором величина добавочного значения равна половине от максимального значения.

- Сглаживание грида. Чтобы включить режим ручного сглаживания, необходимо активировать иконку  после включения режима редактирования грида. В данном случае также станет доступен ввод «Ширины окна», которая регулирует крутизну фильтра Гаусса, который используется для сглаживания. Обратите внимание, что при сглаживании детальных моделей, состоящих из большого количества ячеек, или при большом радиусе курсора, вычисления могут происходить долго и интерактивность процесса сглаживания может теряться.

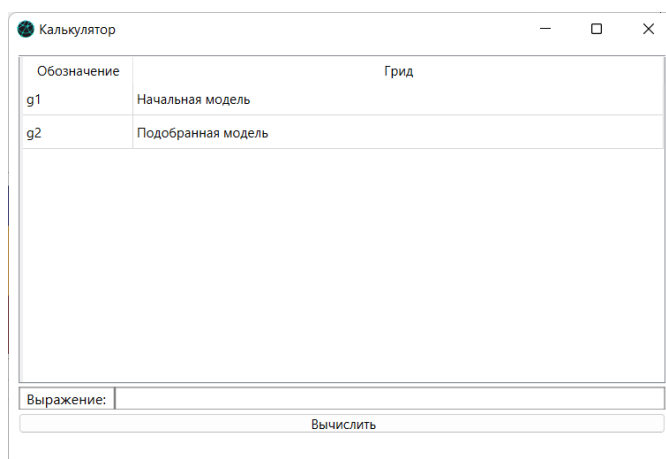
Отключить режим редактирования грида можно путем нажатия клавиши Esc или повторным нажатием на иконку .

6.4 Математические операции с 2D гридами

6.4.1 Калькулятор 2D разрезов

С загруженными в программу разрезами (т.е. объектами, список которых находится в дереве проекта во вкладке «Разрезы») можно выполнять поэлементные вычисления по произвольным формулам с помощью встроенного калькулятора. Используемые в вычислениях гриды обязательно должны иметь одинаковые параметры разбиения.

Чтобы открыть калькулятор, необходимо нажать ПКМ на вкладке «Разрезы» в дереве проекта и выбрать пункт «Калькулятор». Далее, появится окно, со списком разрезов и соответствующими для них обозначениями, которые необходимо использовать в формулах:



Ниже списка гридов и обозначений располагается поле для ввода выражения. Синтаксис математических функций соответствует синтаксису языка [ECMAScript](#). Большинство математических функций (возведение в степень, логарифм, тригонометрические функции и др.) начинаются со слова `Math` (обязательно с заглавной буквы). В формулах могут использоваться не только обозначения гридов, но и произвольные числа. **Формулы чувствительны к регистру.**

Ниже приведен список обозначений основных математических операторов и функций, а также примеры их применения:

<i>Оператор / Функция</i>	<i>Обозначение (синтаксис)</i>	<i>Пример</i>
Сложение	<code>+</code>	$g1 + g2$
Вычитание	<code>-</code>	$g1 - g2$
Умножение	<code>*</code>	$g1 * g2$
Деление	<code>/</code>	$g1 / g2$
Модуль	<code>Math.abs(аргумент)</code>	$Math.abs(g1)$
Возведение в степень	<code>Math.pow(основание, показатель степени)</code>	$Math.pow(g1, 3)$
Квадратный корень	<code>Math.sqrt(аргумент)</code>	$Math.sqrt(g1 + g2)$
Экспонента	<code>Math.exp(аргумент)</code>	$Math.exp(g1 / 100)$
Натуральный логарифм	<code>Math.log(аргумент)</code>	$Math.log(g1)$



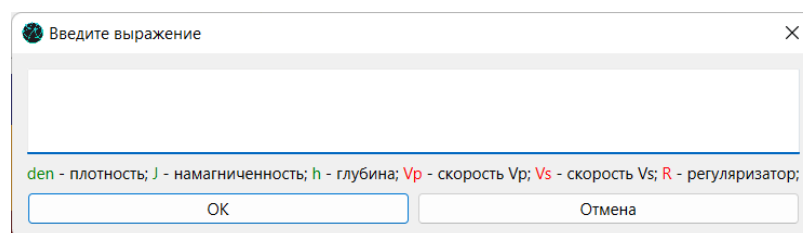
Десятичный логарифм	$\text{Math.log10}(\text{аргумент})$	$\text{Math.log10}(g2)$
Синус*	$\text{Math.sin}(\text{аргумент})$	$\text{Math.sin}(g2 / g3)$
Косинус*	$\text{Math.cos}(\text{аргумент})$	$\text{Math.cos}(g2 / g3)$
Тангенс*	$\text{Math.tan}(\text{аргумент})$	$\text{Math.tan}(g2 / g3)$
Больше	$>$	$g1 > g2$
Меньше	$<$	$g1 < g2$
Больше или равно	$\geq$	$g1 \geq g2$
Меньше или равно	$\leq$	$g1 \leq g2$
Проверка на равенство	$==$	$g1 == g2$
Проверка на неравенство	$!=$	$g1 != g2$
И	$\&\&$	$g1 > 1000 \&\& g1 < 2000$
ИЛИ	$\parallel$	$g1 > 1000 \parallel g1 < 500$
НЕ	$!$	$!(g1 > 1000 \parallel g1 < 500)$
Условие	условие ? выражение, если да : выражение, если нет	$g1 > 1 ? g1 * 10 : g2$

* - аргумент тригонометрических функций должен быть в радианах

В выражениях может участвовать произвольное количество разрезов и чисел. Результат вычисления выражения добавляется в проект в виде нового разреза.

6.4.2 Калькулятор 2D сеточных моделей

С сеточными моделями (т.е. объектами, список которых находится в дереве проекта во вкладке «Сеточные модели») также можно выполнять поэлементные математические операции с помощью калькулятора, который можно открыть с помощью меню «Модель – Грид – Математические операции – Формула». В окне, которое открывается после активации данного пункта меню, имеется поле для ввода формулы, а также список обозначений. Зеленым цветом выделяются обозначения, который могут использоваться в формуле, красным – обозначения, которые нельзя использовать (например, если данные не загружены в проект).



Синтаксис математических операций и функций аналогичен синтаксису калькулятора Разрезов (см. раздел [6.4.1](#))

6.4.3 Арифметические операции с моделью из файла

Видимый (т.е. визуализируемый в данный момент) грид можно сложить/вычесть с гридом из файла с помощью опций «Модель – Грид – Математические операции – Прибавить/Вычесть грид». После выбора одной из перечисленных опций необходимо выбрать путь к файлу с сеточной моделью и если параметры разбиения модели, содержащейся в файле, совпадают с параметрами видимой модели, то будут выполнены соответствующие вычисления.

Результат вычислений заменит исходную модель или грид.

6.4.4 Производные

По видимой сеточной модели или разрезу можно рассчитать производные по каждой оси ($\partial/\partial x$, $\partial/\partial z$), а также модуль полного градиента с помощью конечных разностей. Опции для расчета производных и градиента находятся в меню «Модель – Грид – Математические операции – Градиент»

6.4.5 Сглаживание

Сеточные модели и разрезы можно сглаживать, для этого необходимо сделать активным (т.е. видимым) сеточную модель или разрез, который необходимо сгладить, после чего выбрать пункт меню «Модель – Грид – Сгладить – Весь грид». После нажатия на соответствующий пункт меню появится диалоговое окно, в котором можно выбрать тип фильтра, а также его параметры.

Также в GravMagInv2D имеется опция копирования крайних «столбцов» ячеек модели (т.е. самого левого и самого правого) с соседних «столбцов». Это может быть полезно после решения обратной задачи, когда крайние «столбцы» ячеек сильно



контрастируют с остальной моделью. Данная опция доступна в меню «Модель – Грид – Сгладить – Края»

6.4.6 Послойный уровень

По видимой сеточной модели или разрезы можно рассчитать распределение избыточных значений путем вычитания средних или минимальных значений на каждой глубине с помощью опций «Модель – Грид – Послойный уровень – Минимум/Средние не ноль». Данные опции актуальны, например, при работе с плотностными моделями.

Также по видимой модели можно рассчитать средние значения на каждой глубине в блоках с помощью опции «Модель – Грид – Послойный уровень – Горизонтальное среднее в блоках».

Результат вычисления избыточных или средних значений заменяет видимую модель.

6.4.7 Пересчет Скорость-Плотность

В GravMagInv2D реализованы возможности для пересчета скоростных моделей (V_p и V_s) в плотностную модель и плотностной модели в распределение скоростей упругих волн.

Пересчет распределения скоростей упругих волн в распределение плотности доступен в трех вариантах: общая формула Гарднера для терригенных пород по всей модели, пересчет по разным формулам для каждого слоя и пересчет с помощью машинного обучения.

Пересчет скорость – плотность по формуле Гарднера

Для пересчета сеточной модели скоростей продольных волн (V_p) в плотность по формуле Гарднера для терригенных пород ($\sigma = 0.31V_p^{0.25}$) воспользуйтесь опцией «Модель – Грид – (Глубина, Скорость) - Плотность – Формула Гарднера». Для пересчета в проект должна быть загружена сеточная модель V_p (единицы измерения м/с), после пересчета будет создана (или заменена) сеточная модель плотности в г/см³.

Пересчет скорость – плотность по разным формулам для каждого слоя

Чтобы рассчитать распределение плотности на основе значений скоростей продольных волн, скоростей поперечных волн и глубины, в проект должна быть загружена хотя бы одна из следующих моделей: V_p , V_s или плотность (в случае, если в расчетах учитываются только глубины).



Для расчета плотностной модели по разным формулам для каждого блока воспользуйтесь опцией «Модель – Грид – (Глубина, Скорость) - Плотность – Формулы». После нажатия откроется окно, в котором будет список блоков, тип формулы для каждого слоя и поле/поля для ввода параметров формул:

В программе реализованы следующие типы формул:

- *Формула Гарднера (Гарднер)* – пересчет скоростей V_p в плотность по общей формуле Гарднера для терригенных пород: $\sigma = 0.31V_p^{0.25}$.

- *Константа* – заполнение плотности постоянным значением в г/см^3 .

- *Водонасыщенные породы* – $\sigma = \sigma_m + 0.01 * n * (1 - \sigma_m)e^{-0.00045H}$, σ_m – минеральная плотность пород в г/см^3 , n – предельное значение пористости в **процентах**. В поля для ввода укажите значения минеральной плотности и максимальной пористости соответственно.

- *Газонасыщенные породы* – $\sigma = \sigma_m(1 - 0.01 * n * e^{-0.00045H})$, σ_m – минеральная плотность пород в г/см^3 , n – предельное значение пористости в **процентах**. В поля для ввода укажите значения минеральной плотности и максимальной пористости соответственно.

- *Квадратный трехчлен ($aV_p^2 + bV_p + c$)* – пересчет скорости продольных волн в плотность с помощью квадратного трехчлена. В поля для ввода необходимо ввести коэффициенты при V_p^2 , V_p и свободный член соответственно. Также данной формулой можно пользоваться для пересчета скорости продольных волн в плотность с помощью линейной зависимости, для этого достаточно указать коэффициент при V_p^2 равным нулю

- *Другое* – расчет плотностной модели на основе произвольной формулы. В поле для ввода необходимо ввести формулу, в которой в качестве аргументов могут выступать скорости продольных волн (обозначаются V_p), скорости поперечных волн (обозначаются



Vs) и глубина (обозначается h). Синтаксис формул аналогичен синтаксису калькулятора 2D разрезов (см. пункт 6.4.1).

Также в GravMagInv2D реализован пересчет плотностной модели в модель скоростей продольных волн. Пересчет возможен по общей формуле Гарднера $Vp = \left(\frac{\sigma}{0.31}\right)^4$ и по разным формулам для каждого слоя.

Пересчет плотностной модели в Vp по общей формуле Гарднера выполняется с помощью опции «Модель – Грид – (Глубина, Плотность) – Скорость – Формула Гарднера»

Для пересчета плотности в Vp с помощью разных формул для разных слоев воспользуйтесь опцией «Модель – Грид – (Глубина, Плотность) – Скорость – Формулы». В появившемся окне, как и в случае пересчета скорости в плотность, содержится список слоев, тип формулы для каждого слоя и поля для ввода параметров формул. Типы формул включают в себя те же типы, что и при расчете плотностной модели, кроме «водонасыщенных пород» и «газонасыщенных пород».

6.4.8 Пересчет намагниченность ↔ магнитная восприимчивость

При магнитном моделировании в GravMagInv2D используется распределение намагниченности, однако в некоторых случаях может потребоваться пересчет намагниченности в магнитную восприимчивость или магнитной восприимчивости в намагниченность (например, при импорте результатов моделирования из других программных пакетов). В качестве единиц измерения магнитной восприимчивости в GravMagInv2D используется 10^{-5} ед. СИ, для намагниченности используются А/м.

Для пересчета сеточной модели магнитной восприимчивости в намагниченность необходимо сделать ее активной, после чего нажать на пункт меню «Модель – Грид – Магн. Восприимчивость – Намагниченность».

Пересчет распределения намагниченности в магнитную восприимчивость осуществляется аналогично с помощью опции «Модель – Грид – Намагниченность – Магн. Восприимчивость»). Также распределение намагниченности, которое хранится в сеточной модели намагниченности (т.е. находится в дереве проекта во вкладке «Сеточные модели – Намагниченность») можно пересчитать в магнитную восприимчивость с помощью нажатия правой кнопкой мыши по модели намагниченности в дереве проекта и выбора пункта «Пересчитать в восприимчивость».



При пересчете намагниченности J в магнитную восприимчивость κ и в обратную сторону используются следующие формулы:

$$\kappa = \frac{\mu_0 J}{T} * 10^5$$

$$T = \frac{\kappa T}{\mu_0 * 10^5}$$

где T – модуль индукции нормального магнитного поля в Тл (это значение берется из параметров нормального поля, установленных в проекте, пересчет из нТл в Тл происходит автоматически), μ_0 – магнитная проницаемость вакуума.

6.4.9 Статистика

Для видимой сеточной модели или разреза можно рассчитать поблочную статистику (минимальное, максимальное и среднее значение) с помощью опции «Модель – Грид – Статистика». После нажатия на соответствующую кнопку, откроется окно, в котором подписываются минимальное, максимальное и среднее значение, определенные по видимой модели в каждом блоке, а также по всей модели.

	Min	Max	Mean
1	-2	0	-0.281733
2	0.3	0.379566	0.313864
3	0.4	0.4	0.4

Номера блоков указываются в соответствии с их последовательностью в дереве проекта.



7 Настройка и оформление данных

7.1 Настройки вычислений

Настройки вычислений в проекте в GravMagInv2D выполняются через меню пункт «Настройки» в дереве проекта. В настройках можно выбрать:

- Вычислительное устройство: центральный процессор (CPU) или дискретная видеокарта (возможно использовать только видеокарты, поддерживающие технологию CUDA версии не ниже 6.0, и только в расширенной версии GravMagInv2D). Если видеокарта отсутствует, либо не поддерживает технологию CUDA версии не ниже 6.0, то в качестве вычислительного устройства можно выбрать только CPU. Вычисления на GPU используются только при решении прямой и обратной задачи для сеточных моделей;

- Количество вычислительных потоков (только для центрального процессора, распараллеливание на видеокарте происходит автоматически);

- Поверхность расчета: горизонтальная поверхности или точки наблюдения, если они загружены в проект. Выбранная поверхность учитывается как при прямой задаче, так и при инверсии;

- Высоту горизонтальной поверхности, на которой будет производиться вычисление прямой задачи. Выбранная высота учитывается как при решении прямой задачи, так и при инверсии.

- Фоновая плотность: значение плотности, которое вычитается из всех блоков и ячеек сеточной модели при решении прямой задачи. Данный параметр актуален при моделировании с учетом рельефа, когда используется наблюденное поле в редукции Буге. В таком случае в качестве фоновой плотности рекомендуется указывать значение плотности, с которым вычислялась топографическая поправка.

7.2 Общие настройки вида

Общие настройки вида включают в себя следующие настройки:

- Изменение размеров окон. Настраивать размеры окон можно с помощью меню «Вид – Размеры окна». В данном меню содержатся два пункта: «Вручную» и «Автоматически». При выборе пункта «Вручную» открывается окно, в котором необходимо задать минимальное и максимальное значение по каждой оси (в том числе по оси Z). Также в данном окне можно выбрать ранее сохраненные размеры. Сохранение



текущих параметров окна с моделью осуществляется с помощью опции «Вид - Размеры окна – Сохранить текущие размеры». Также в меню «Вид – размеры окна» можно выставить соотношение вертикального и горизонтального масштаба осей окна с моделью 1:1 с помощью опции «1:1». При этом горизонтальная происходит подстраивание вертикальной шкалы для соответствия масштабу.

- Выбор светлого или темного оформления основного окна программы. Данная опция находится во вкладке «Вид» в меню «Настройки» в дереве проекта.

- Направление цветовой шкалы для сеточных моделей (снизу вверх или сверху вниз). Данная опция также находится в меню «Настройки» в дереве проекта.

Помимо общих настроек вида, в GravMagInv2D также можно настраивать внешний вид отдельных объектов, загруженных в программу.

7.3 Блоки

Для блоков в GravMagInv2D реализованы следующие настройки внешнего вида:

- Настройка цвета – каждому блоку можно задать свой цвет заливки, линии, точек. Настройка данных параметров может осуществляться через дерево проекта и менеджер свойств (вкладка «Оформление»). Если в дереве проекта активна вкладка «Блоки», то изменяемые настройки внешнего вида применяются одновременно ко всем блокам. Цвет заливки также можно настроить через таблицу (меню «Модель – Блоки – Таблица») и путем нажатия ПКМ по блоку и выбора пункта «Цвет». Также блоки можно автоматически можно раскрасить по значениям плотности или намагниченности с помощью меню «Вид – Блоки – Раскрасить по плотности/намагниченности». Кроме того, можно задать всем блокам первоначальную серую раскраску с помощью опции «Вид – Блоки – Раскрасить по умолчанию».

- Подпись значений плотности и/или намагниченности. Включение и отключение подписей осуществляется с помощью меню «Вид – Блоки – Подписать плотности/намагниченности». Также для каждого блока с ненулевым модулем полного вектора намагниченности можно визуализировать вектор намагниченности (его проекцию на плоскость разреза по профилю).

- Включение/отключение визуализации вершин (опция «Вид – Блоки – Показать/Скрыть точки»).



- Включение/отключение визуализации границ блоков (опция «Вид – Блоки – Границы»).
- Включение/отключение визуализации линий центров масс (опция «Вид – Блоки – Линии центров масс»).
- Включение/отключение визуализации грида и/или изображения в качестве подложки (опция «Вид – Блоки – Грид/Картинка - подложка»)
- Настройка прозрачности (опция «Вид – Прозрачность – Блоки»).

Также каждому блоку можно задать название через дерево проекта.

7.4 Сеточные модели и разрезы

Для включения визуализации сеточной модели или разреза необходимо два раза нажать ЛКМ по соответствующей модели или разрезу в дереве проекта.

Для сеточных моделей и разрезов в GravMagInv2D реализованы следующие настройки внешнего вида:

- Настройки цветовой шкалы, которые включают в себя выбор цветовой шкалы из списка, инвертирование выбранной цветовой шкалы, если это необходимо, а также задание пределов цветовой шкалы. Данные настройки доступны в менеджере свойств во вкладке «Цветовая шкала» при нажатии на соответствующую модель или разрез в дереве проекта.
- Настройки изолиний, которые включают в себя включение/отключение изолиний, минимальное и максимальное значение и шаг изолиний, цвет и толщину линий. Обратите внимание, что отображение изолиний может замедлить перерисовку моделей и по этой причине оно отключается в режиме редактирования гридов. Также в GravMagInv2D имеется ограничение на количество изолиний – 200.
- Прозрачность, которая настраивается с помощью меню «Вид – Прозрачность – Грид».

7.5 Рельеф

Для рельефа также можно настраивать внешний вид с помощью дерева проекта и менеджера свойств. Визуализацию рельефа можно отключать и включать, также можно задавать цвет точек и цвет линии рельефа и отключать/включать точки и линию.



Кроме того, при активации рельефа в дереве проекта, в менеджере свойств появляется вкладка «Настройки», в которой можно включить/выключить обрезку сеточных моделей при моделировании. Если включена обрезка, то ячейки, расположенные выше рельефа, заполняются нулевыми значениями.

7.6 Поля

Настройки внешнего вида полей схожи с настройками внешнего вида рельефа: каждому полю можно задать цвет линий и точек, а также включить и отключить отображение линий и точек. Параметры внешнего вида соответствующего поля находятся в менеджере свойств при нажатии на данное поле в дереве проекта.

Кроме того, для окон, в которых отображаются гравитационное и магнитное поле, можно настраивать пределы вертикальной шкалы при нажатии на любое из соответствующих полей.

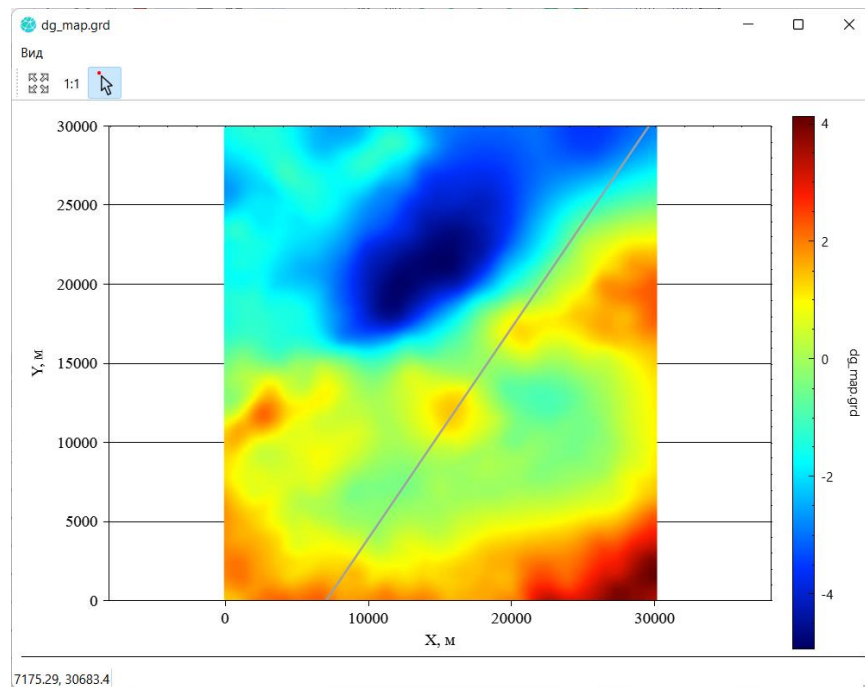
7.7 Точки наблюдения

Настройки визуализации точек наблюдения аналогичны настройке визуализации полей. Также стоит отметить, что если в качестве поверхности расчета выбрана константа, а не точки наблюдения, то в окне с моделью будут визуализироваться не загруженные точки наблюдения, а горизонтальная поверхность, на которой выполняется решение прямой задачи.

7.8 Карты

Настройка внешнего вида карт осуществляется через дерево проекта и менеджер свойств. После нажатия ЛКМ по соответствующей карте во вкладке «Карты» в дереве проекта, в менеджере свойств появятся вкладки с информацией и настройками для данной карты. Для каждой карты можно задать параметры цветовой шкалы и изолиний. Кроме того, во вкладке «Инфо» в менеджере свойств можно задать имя карты и единицы измерения.

При двойном нажатии ЛКМ по карте в дереве проекта, открывается новое окно, в котором визуализируется данная карта. В GravMagInv2D можно открывать произвольное количество окон с картами.



В окне с картой имеется меню «Вид», в котором содержатся следующие опции:

- Выровнять размеры – при нажатии на данную кнопку размеры всех окон с картами подстроятся под размер текущего окна.
- 1:1 – при нажатии на данную кнопку соотношение масштабов осей X и Y станет равным единице.
- Совместный курсор – если данная опция активирована, то при перемещении курсора мыши по одному из окон с картами, по всем остальным будет перемещаться точка, показывающая положение курсора.

Если в проект загружены координаты профиля, то положение профиля визуализируется на каждой карте в виде серой линии.

7.9 Дополнительные данные

Как и в случае с полями, каждым дополнительным данным можно задать цвет линий и точек, а также включить и отключить отображение линий и точек через менеджер свойств. Также всем дополнительным данным можно задать имена.

7.10 Априорные линии

Настройки априорных линий схожи с дополнительными данными, однако априорные линии не подразумевают отображение точек и визуализируются только в виде линий. Каждой линии можно задать имя и цвет, также каждую линию можно отключить.



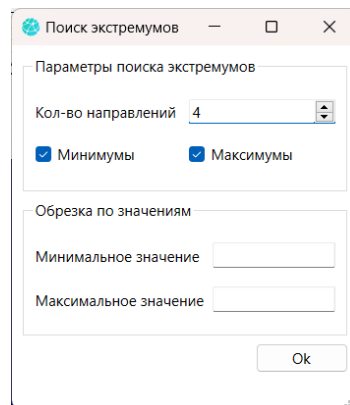
8 Локализация особых точек

В данной главе рассматриваются возможности GravMagInv2D для локализации особых точек потенциальных полей. К таким подходам помимо упомянутых в данной главе также можно отнести инверсию без учета априорных данных, которая рассмотрена в разделе [9.4.2](#), в комбинации с опцией поиска экстремумов по трехмерным сеточным моделям, описанной в разделе [8.1](#). Основные опции для локализации особых точек по данным, загруженным в проект GravMagInv2D, находятся в меню «Особые точки».

8.1 Поиск экстремумов по разрезам

В GravMagInv2D реализована опция поиска локальных экстремумов по текущей сеточной модели или разрезу (т.е. гриду, который в данный момент визуализируется в окне с моделью). Данная опция вызывается с помощью пункта меню «Особые точки – Поиск экстремумов».

После нажатия на соответствующий пункт меню появится диалоговое окно с параметрами поиска экстремумов.



Параметры включают в себя:

- Количество направлений, по которому будет осуществляться поиск экстремумов. Определение, является ли точка экстремума, происходит по окружающим ее 8 точкам карты. По этим 8 точкам составляются 4 пары, по которым определяется, является ли центральная точка локальным минимумом или максимумом. Если количество пар, внутри которых данная точка является экстремумом, не менее выбранного количества направлений, точка будет добавлена в проект как экстремум.

- Включение/выключения поиска минимумов и максимумов;



- Ограничение по минимальному и максимальному значению на разрезе, для которых происходит поиск экстремумов. Если соответствующее поле оставить пустым, то ограничение не будет применяться.

После нажатия на кнопку «Ok» будет произведен поиск экстремумов по текущему разрезу и все найденные экстремумы будут добавлены в группу точек в списке «Точки» в дереве проекта.

Для разрезов, разбитых на большое количество ячеек, не рекомендуется использовать малое количество направлений при поиске экстремумов, т.к. в таком случае количество локальных экстремумов может быть очень большим, что в свою очередь может привести к зависанию программы при перерисовке модели.

8.2 Вейвлет-анализ

В GravMagInv2D реализована опция расчета вейвлет-спектров потенциальных полей с помощью вейвлетов, построенных на основе ядра Пуассона, по экстремумам которых могут оцениваться особые точки.

Расчет вейвлет-спектров запускается с помощью опции «Особые точки – Вейвлет-преобразование - Прямое». После нажатия на соответствующий пункт меню, появится окно с настройкой параметров вейвлет-преобразования.

Параметры включают в себя:



- Данные, по которым происходит расчет вейвлет-спектра. Программа берет данные из списка «Доп. данные» в дереве проекта. Важно, чтобы набор данных имел постоянный шаг по профилю;
- Высота наблюдения, указывающая высоту поверхности, на которой задано наблюдаемое поле. Это значение должно быть положительным для отметок выше нуля;
- Высота верхней отметки модели – параметр, указывающий, с какой вертикальной координаты строится двумерный вейвлет-спектр. Это значение должно быть положительным для отметок выше нуля;
- Количество ячеек по вертикали и шаг между ними в вейвлет-спектре. Модуль для расчета вейвлет-спектра по умолчанию предполагает, что поле задано нулевой отметке. Для изменения вертикальных координат итогового вейвлет-спектра можно воспользоваться опцией задания координат углов, описанной в разделе 6.3.2;
- Тип вейвлета: X , Z – производные ядра Пуассона по соответствующей оси, $|W|$ – корень из суммы квадратов вейвлет-спектров по всем осям;
- Порядок вейвлета – порядок производной силы притяжения, которая используется в качестве ядра преобразования;
- Масштабный коэффициент – степенная функция, на основе которой вычисляется масштабный коэффициент, зависящий от глубины. Если выбран вариант $1/h^d$, то также необходимо указать степень d .
- Флаг поиска экстремумов – если включен, то после расчета вейвлет-спектра по нему автоматически будет выполнен поиск локальных экстремумов (см. раздел 8.1, количество направлений будет равно 4)

После нажатия кнопки «Ok» будет запущен процесс расчета вейвлет спектра, который после завершения расчетов будет добавлен в список разрезов.

В GravMagInv2D также реализованы возможности для вычисления обратного вейвлет-преобразования (пункт меню «Особые точки – Вейвлет-преобразование – Обратное»). Данная опция может использоваться, например, для фильтрации полей (по заданному полю можно рассчитать прямое вейвлет-преобразование, после чего отредактировать вейвлет-спектр и рассчитать обратное преобразование). Окно с настройками для обратного вейвлет-преобразования аналогично окну с настройками



прямого преобразования, отличия заключаются в том, что вместо профильных данных нужно выбрать разрез, в котором содержится вейвлет-спектр, а также задать постоянный множитель C (он будет задан автоматически, если разрез был получен путем прямого вейвлет-преобразования). После нажатия кнопки «Ок» будет запущен процесс расчета обратного вейвлет-преобразования, по результатам которого в проект будут добавлены новые профильные данные (вкладка «Доп. данные» в дереве проекта). Также стоит отметить, что при малом количестве ячеек по вертикали (параметр N_z), высокочастотная компонента исходное поле может восстанавливаться не полностью.

8.3 Деконволюция Эйлера

В GravMagInv2D реализована опция для локализации особых точек с помощью деконволюции Эйлера. Для запуска деконволюции Эйлера необходимо использовать пункт меню «Особые точки – Деконволюция Эйлера».

После нажатия на соответствующий пункт меню, появится окно с параметрами деконволюции Эйлера. Параметры включают в себя:

- Данные, по которым происходит локализация особых точек. Программа берет данные из списка «Доп. данные» в дереве проекта;
- Поверхность, на которой заданы точки наблюдения. Если выбран первый пункт «Константа», то можно также задать высоту поверхности (*обратите внимание, что в данном поле нужно ввести именно высоту, т.е. отметкам выше нуля соответствуют **положительные значения***) Остальные пункты в параметры «Поверхность» соответствуют картам в списке «Доп. данные» в дереве проекта. *Если выбран любой элемент из «Доп. данных», то значения высот в нем должны быть заданы в соответствии с вертикальной шкалой, направленной вниз (т.е. отметкам выше нуля должны соответствовать **отрицательные значения**).*
- Флаг автоматического расчета производных;
- Данные с производными, которые нужно выбрать в случаях, если отключен автоматический расчет производных;
- Структурный индекс – параметр, регулирующий тип источников, для которых оцениваются особые точки;
- Количество ячеек в окне, по которому оцениваются параметры особой точки.



- Шаг окна – сдвиг окна в количестве ячеек. Данный параметр актуален, если не используется локализация только по экстремумам;

- Флаг использования экстремумов – если флаг включен, то локализация особых точек происходит только в окнах, центры которых располагаются в локальных экстремумах выбранных данных.

После выбора параметров необходимо нажать на кнопку «Рассчитать», после чего будет запущен процесс расчета. По завершению расчетов в проект будет добавлена группа точек, которые будут визуализироваться на разрезе.



9 Прямая и обратная задача гравиразведки и магниторазведки

9.1 Настройки прямой и обратной задачи

Перед решением прямой и обратной задачи для плотностной и магнитной модели рекомендуется проверить настройки проекта (вкладка «Настройки» в дереве проекта). Описание настроек приведено в главе [7.1](#) данного руководства.

Если прямая и или обратная задача решается слишком долго, для ускорения процесса вычислений рекомендуется использовать прореженную плотностную и/или магнитную модель.

Стоит отметить, что распараллеливание процесса не обязательно уменьшает длительность решения обратной задачи в число раз, равное количеству потоков.

9.2 Параметры нормального магнитного поля

Перед решением прямой и обратной задачи магниторазведки необходимо указать параметры нормального магнитного поля: модуль индукции, склонение и наклонение. Их можно настроить с помощью опции «Прямая задача – Магниторазведка - Нормальное поле». После нажатия соответствующей кнопки, открывается окно, в котором необходимо указать модуль индукции нормального магнитного поля в нТл, склонение и наклонение в градусах, а также азимут профиля в градусах.

Нормальное магнитное поле

Нормальное магнитное поле T, нТл

49000

Склонение нормального поля D, °

15

Наклонение нормального поля i, °

74

Азимут профиля A, °

36.9

OK Отмена

9.3 Прямая задача

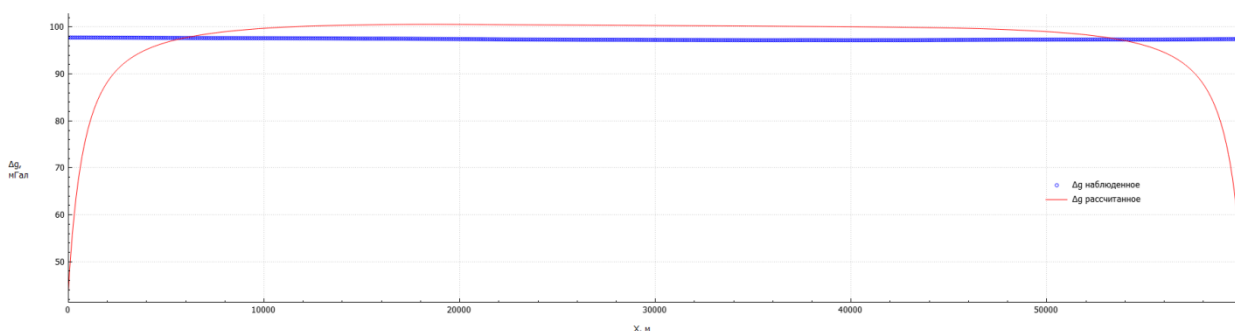
9.3.1 Блочные модели

Прямая задача гравиразведки и магниторазведки для блочных (полигональных) моделей может решаться как на горизонтальной поверхности, так и на произвольной поверхности. Точки наблюдения могут находиться во внутренней области модели.



Если точки наблюдения и наблюдаемое поле не загружены в программу, то необходимо задать параметры профиля («Прямая задача – Параметры профиля»): минимальная и максимальная координата по профилю и шаг точек. В таком случае прямая задача будет решаться на постоянной вертикальной координате, которую можно задать через меню «Прямая задача – Высота расчета». При задании высоты расчета необходимо указывать **положительные** значения для точек, расположенных выше нулевой отметки. По умолчанию высота расчета равна 0 м.

При решении прямой задачи для полигональной модели не забывайте учитывать краевые эффекты, то есть продлевать полигональную модель за пределы профиля. Не учет краевых эффектов выражается в «заваливании» графика рассчитанных аномалий силы тяжести на краях профиля:



Автоматический учет краевых эффектов при решении прямой задачи для полигональных моделей в программе не предусмотрен, однако каждый блок можно расширить влево/вправо/в обе стороны с помощью нажатия правой кнопки мыши по блоку и выбора соответствующего пункта из меню «Расширить блок». При использовании данной опции горизонтальные координаты вершин левой и/или правой границы блока будут изменены на -10^9 и 10^9 м соответственно.

Также стоит отметить, что в GravMagInv2D блоки могут иметь пересечения и в таком случае в областях пересечений физические свойства будут складываться. Для корректного моделирования рекомендуется устранять пересечения в блоках (см. раздел [6.2.1](#)).

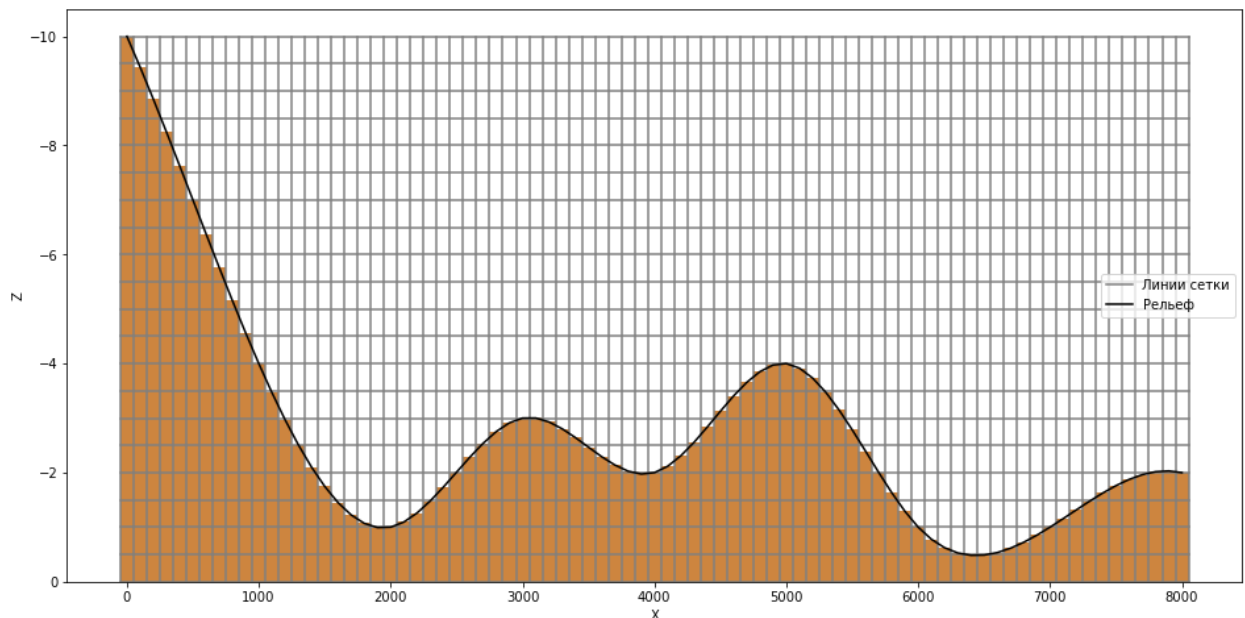
9.3.2 Сеточные модели

Прямая задача гравиразведки и магниторазведки для сеточных моделей в GravMagInv2D решается как на горизонтальной поверхности, так и на произвольной поверхности. При решении прямой задачи на горизонтальной поверхности, расчет производится в узлах сетки грида, т.е. горизонтальные координаты расчетных точек



совпадают с горизонтальными координатами ячеек грида. Если в проект загружен рельеф, то из модели исключаются ячейки, которые полностью лежат выше поверхности рельефа. Ячейки, пересекающие рельеф, в данном случае не приводятся к отметкам рельефа.

В случае моделирования на произвольной поверхности прямая задача решается в точках заданной поверхности без интерполяции загруженных точек к горизонтальной сетке модели. В случаях, если в проект загружен рельеф, при решении прямой задачи на произвольной поверхности рельеф аппроксимируется системой прямоугольных призм. Верхняя кромка каждой призмы задается на отметке рельефа, нижняя кромка задается в соответствии с параметрами разбиения модели:



Временная сложность алгоритма решения двумерной прямой задачи в действительной области - $O(Nx_m Nz_m Np)$, где Nx_m и Nz_m – количество ячеек сеточной модели по осям x и z соответственно, Np – количество расчетных точек.

При решении прямой задачи сеточная модель автоматически продлевается для учета краевых эффектов за пределы профиля на 50 длин профиля в каждую сторону.

9.3.3 Увязка полей

В GravMagInv2D имеется 4 варианта увязки наблюдаемого и рассчитанного поля:

- увязка по среднему значению (при использовании данного варианта увязки среднее значение рассчитанного поля выводится на среднее значение наблюдаемого поля);



- постоянный сдвиг (в этом случае к рассчитанному полю прибавляется выбранное постоянное значение);

- увязка по пикету (в этом случае после увязки значения наблюдаемого и рассчитанного поля будут совпадать в указанной точке профиля);

- отключение увязки (в таком случае уровень рассчитанного поля не изменяется)

Выбранный тип увязки также учитывается при решении обратной задачи гравиразведки и магниторазведки.

9.4 Обратная задача

Перед запуском решения обратной задачи необходимо проверить параметры прямой задачи, в частности поверхность расчета, высоту поверхности расчета (если расчет ведется на горизонтальной поверхности), параметры нормального магнитного поля, направление намагниченности (склонение и наклонение) блочной и сеточной модели, параметры увязки.

В GravMagInv2D реализовано три подхода к решению обратной задачи гравиразведки и магниторазведки:

- Подбор произвольного распределения плотности («Распределение плотности / намагниченности - Произвольное»), по результатам которой может подбираться произвольное распределение плотности или намагниченности, то есть плотность и намагниченность могут изменяться во всех направлениях. Для запуска такого типа инверсии необходимо наличие стартовой (например, пустой) сеточной плотностной и/или магнитной модели;
- Латеральная инверсия («Распределение плотности / намагниченности – Латеральное»), по результатам которой подбирается латеральное распределение плотности или намагниченности в слоях (блоках). По вертикали в таком случае плотность и намагниченность не изменяются. Для запуска латеральной инверсии необходимо наличие стартовой (например, пустой) сеточной плотностной и/или магнитной модели и блочной модели в проекте;
- Блочная инверсия («Распределение плотности / намагниченности – Константа (блоки)»), по результатам которой подбирается константное значение плотности или намагниченности (индуцированной, остаточной или полной) в блоках полигональной модели. Этот тип инверсии никак не влияет на сеточную модель и меняет только блочную модель.

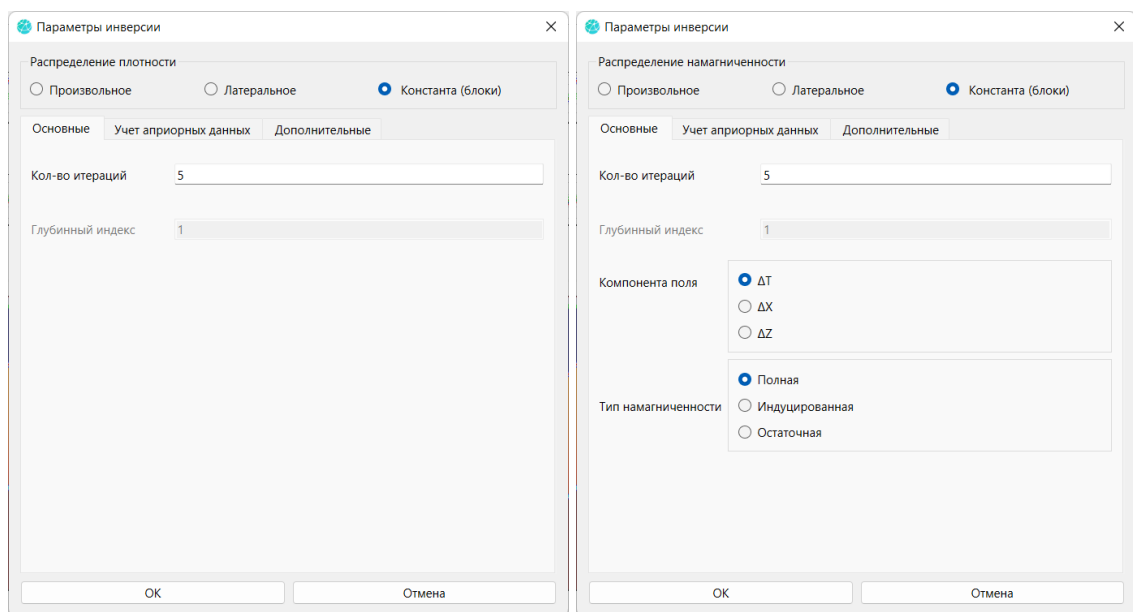


Первые два варианта распространяются на сеточные модели, последний относится к блочным моделям.

Для запуска решения обратной задачи используйте опцию «Обратная задача – Гравиразведка» или «Обратная задача – Магниторазведка», после чего появится окно с параметрами инверсии.

9.4.1 Блочные модели

Для запуска блочной инверсии активируйте пункт «Константа (блоки)» в верхней части основной вкладки окна параметров инверсии.



При решении обратной задачи гравиразведки для блочной модели единственным настраиваемым параметром является количество итераций. В случае решения обратной задачи магниторазведки также можно выбрать компоненту поля, по которой осуществляется подбор, а также тип подбираемой намагниченности (полная / индуцированная / остаточная).

Более широкие возможности по настройке параметров инверсии, а также возможности для учета априорной геолого-геофизической информации реализованы при решении обратной задачи гравиразведки и магниторазведки для сеточных моделей.

9.4.2 Сеточные модели

По сеточным моделям можно осуществлять подбор произвольного (меняющегося по латерали и вертикали) и латерального (меняющегося только по латерали) распределения плотности и намагниченности.



Окно параметров решения обратной задачи гравиразведки

Окно параметров решения обратной задачи магниторазведки

В данном окне параметров инверсии имеется три вкладки с набором параметров: основные, учет априорных данных и дополнительные.

Основные параметры включают в себя:

- Количество итераций;
- Глубинный индекс (актуально только для грид-инверсии) – параметр, регулирующий выравнивание чувствительности оператора обратной задачи к ячейкам с глубиной. Поскольку, большинство алгоритмов решения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки наиболее чувствительны к приповерхностным ячейкам, в программе реализована возможность учета снижения чувствительности с глубиной. Чем больше значение данного параметра, тем глубже будут подбираться источники аномалий;
- Знак плотности / намагниченности;
- Выбор компоненты поля, по которому решается обратная задача магниторазведки;



Параметры учета априорных данных включают в себя

- Использование загруженного регуляризатора – если данная опция активна, то сеточная модель «Регуляризатор» используется в качестве весовой функции при решении обратной задачи;

Дополнительные параметры включают в себя:

- Масштаб шага - параметр, регулирующий «скорость» изменения модели на каждой итерации. С помощью данного параметра можно замедлять процесс подбора (например, если нужно последовательно распределить неоднородности по отдельным слоям). Для этого укажите значения в интервале (0;1). Также в некоторых случаях возможно увеличение скорости подбора (например, когда поле модели слабо отличается от наблюдаемого), для этого укажите значение больше 1. Однако зачастую это приводит к «проскоку» через минимум функционала невязки и расхождению результата инверсии;
- Тип поля, используемого при подборе. Если выбрано остаточное поле, то подбираемая модель добавляется к текущей. Если выбрано полное поле, то подобранная модель заменяет текущую.
- Параметры сглаживания (активны при латеральной инверсии): тип и ширина фильтра. Ширина фильтра задается в метрах и равна расстоянию от точки максимальной амплитуды фильтра до точки половинной амплитуды;
- Подбор внутри блоков – если опция включена, то подбор будет производиться только в пределах блоков полигональной модели, в которых плотность/намагниченность не зафиксирована;
- Линии центров масс – если данная опция включена, то при подборе будут учитываться линии центров масс, заданные для блоков полигональной модели. Если для некоторых блоков линии центров масс не заданы, то в этих участках подбор плотностей будет осуществляться с учетом глубинного индекса;
- Ширина полосы – параметр, регулирующий ширину области подбора вдоль линий центров масс. Данный параметр является относительным и характеризует расстояние между максимальной амплитудой изменения плотности или намагниченности и половиной амплитуды. Если параметр равен 0.5, то ширина полосы будет примерно равна половине вертикальной ширине блока в данной координате X;



- Ограничение плотности / намагниченности – если данная опция включена, то в левом поле необходимо ввести минимальное значение, а в правом – максимальное. После решения обратной задачи, все значения сеточной модели будут лежать в пределах указанного интервала. Если с какой-то стороны не нужно ограничивать плотность / намагниченность, то введите в соответствующем поле символ *.

Фиксация блоков

При решении обратной задачи можно фиксировать распределение плотности и намагниченности в заданных блоках, если в проекте имеется блочная модель. Каждый блок можно зафиксировать (или снять фиксацию) с помощью нажатия правой кнопкой мыши по блоку и выбора пункта «Фиксировать» (или «Снять фиксацию»). Также блоки можно зафиксировать с помощью таблицы («Модель – Блоки – Таблица»). Двойное нажатие по заголовку столбца «Фикс.» фиксирует все блоки или снимает фиксацию всех блоков.

9.4.3 Учет априорных данных

В GravMagInv2D при решении обратной задачи (инверсии) для сеточных моделей реализованы возможности для учета априорных данных (только при подборе произвольного распределения свойств). Учет априорных данных осуществляется путем задания каждой ячейке веса, на основе которого определяется приоритет ячейки при подборе модели. Перед началом подбора плотностной или магнитной модели необходимо загрузить (или создать) матрицу весов. Матрица весов хранится в проекте в виде сеточной модели под названием «Регуляризатор». «Регуляризатор» должен иметь такие же параметры разбиения, как и подбираемая модель.

Большие значения весов соответствуют ячейкам, которые требуют наибольших изменений плотности или намагниченности при подборе (при условии, что эти ячейки находятся в областях с большой невязкой между наблюдаемым и рассчитанным полем). Если ячейка имеет малый вес, то ее значение плотности или намагниченности будет медленнее меняться в процессе подбора. Наконец, ячейки с нулевыми весами не будут изменяться в процессе подбора, даже если они находятся в областях с большой невязкой между рассчитанным и наблюдаемым полем.

Схожим образом работает подбор с учетом «Линий центров масс», которые могут быть заданы для каждого блока. Если у блока имеется линия центров масс, а также использование линий центров масс включено в параметрах инверсии, то для ячеек внутри блока создается распределение весов, убывающее по функции Гаусса в зависимости от



относительного расстояния до линии центров масс по вертикали. Относительное расстояние вычисляется путем деления вертикального расстояния до линии центров масс на вертикальную толщину блока на данной горизонтальной координате. Крутизна функции Гаусса задается через параметр «Ширина полосы» в дополнительных параметрах инверсии.

9.5 Совместная инверсия данных гравиразведки и магниторазведки

Совместная инверсия по данным гравиразведки и магниторазведки предполагает одновременную минимизацию функционала невязки для обоих методов и подбора плотностной и магнитной модели со схожими характерными особенностями. Для совместной инверсии в проекте должны иметься следующие объекты:

- Наблюдаемое гравитационное и магнитное поле с одинаковыми параметрами разбиения;
- Стартовые сеточные модели плотности и намагниченности с одинаковыми параметрами разбиения

Стоит отметить, что использовать совместную инверсию рекомендуется в первую очередь в случаях, когда по априорным геологическим данным предполагается, что источниками аномалий гравитационного и магнитного поля являются одни и те же геологические структуры.

В GravMagInv2D реализована возможность одновременного подбора плотностной и магнитной сеточных моделей, при этом программа будет стремиться менять плотностную и магнитную модель в процессе подбора схожим образом, в результате чего итоговые модели будут схожие характерные особенности.

Для запуска совместной инверсии для сеточных моделей необходимо нажать на пункт меню «Обратная задача – Совместная инверсия». После нажатия на соответствующий пункт меню появится окно настройки параметров инверсии, аналогичное окну, которое рассматривалось в разделе 9.4.2.

Помимо параметров, которые рассматривались ранее, в данном окне также имеется параметр «Алгоритм», с помощью которого настраивается подход к совместной инверсии. Каждый из имеющихся подходов предполагает построение регуляризаторов (см. раздел 9.4.3) для плотностной и магнитной модели, за счет которых наибольшие изменения в каждой из моделей происходят в близких областях. Список алгоритмов совместной инверсии включает в себя:



- Model-reg (abs) – подход, при котором модуль распределения намагниченности выступает в качестве регуляризатора для плотностной модели, а модуль распределения плотности выступает в качестве регуляризатора для магнитной модели;

- StepCross-reg – подход, при котором на каждой итерации вычисляются изменения каждой ячейки плотностной и магнитной модели независимо друг от друга, после чего вычисляется произведение этих изменений и используются в качестве регуляризатора;

- StepSum-reg - подход, при котором на каждой итерации вычисляются изменения каждой ячейки плотностной и магнитной модели независимо друг от друга, после чего вычисляется корень из суммы этих изменений, возведенных в выбранную степень, с весовыми коэффициентами, регулируемые параметром Grav:Mag, и используются в качестве регуляризатора;

- Model-reg (anom mean) – подход, аналогичный Model-reg (abs), однако при расчете регуляризаторов предварительно происходит вычитание средних значений на каждой глубине;

- Model-reg (anom min) – подход, аналогичный Model-reg (abs) и Model-reg (anom mean), однако при расчете регуляризаторов предварительно происходит вычитание минимальных значений на каждой глубине.



10 Форматы данных

10.1 Используемые форматы

В таблице ниже приведен список типов данных и форматы файлов, из которых можно загружать эти данные, а также форматы файлов, в которые данные можно сохранять:

<i>Тип данных</i>	<i>Форматы для загрузки</i>	<i>Форматы для сохранения</i>
Сеточные модели Разрезы	Surfer 7 Binary grid (.grd) Surfer 6 Text grid (.grd) SEG-Y (.seg, .sgy) ZMAP (.dat)	Surfer 7 Binary grid (.grd) Surfer 6 Text grid (.grd) SEG-Y (.seg, .sgy) ZMAP (.dat)
Блочная модель	GMI 2D Blocks* (*.gmi2D) GMI 1D Horizons* (*.txt) ESRI Shape (.shp)	GMI 2D Blocks* (*.gmi2D) GMI 1D Horizons* (*.txt) ESRI Shape (.shp)
Наблюденные поля Рельеф Точки наблюдения Дополнительные данные	GMI 1D data* (.txt)	GMI 1D data* (.txt)
Карты	Surfer 7 Binary grid (.grd) Surfer 6 Text grid (.grd) SEG-Y (.seg, .sgy) ZMAP (.dat)	Surfer 7 Binary grid (.grd) Surfer 6 Text grid (.grd) SEG-Y (.seg, .sgy) ZMAP (.dat)
Априорные линии	GMI 1D Horizons* (*.txt)	GMI 1D Horizons* (*.txt)
Точки	GMI 2D Points* (*.txt)	GMI 2D Points* (*.txt)
Изображение	PNG (*.png) JPEG (*.jpg, *.jpeg)	-

* - встроенные форматы

При импорте SEG-Y файлов длина профиля определяется на основе заголовков CDP-X и CDP-Y (байты 181 – 188) путем суммирования расстояний между соседними трассами. Верхняя граница сеточной модели, импортируемой из SEG-Y файла, по умолчанию располагается на нулевой глубине. Поменять координаты углов сеточной модели можно



вручную с помощью опции «Редактировать – Грид – Границы грида». Также из SEG-Y файлов импортируется информация о рельефе (заголовок RGE, байты 41-44).

10.2 Описание внутренних форматов

10.2.1 Блочные модели

Блоки в GravMagInv2D можно загружать и сохранять в файлы формата GMI 2D Blocks (расширение *.gmi2D, *.gi2D, *.mi2D). Если вы работаете в гравимагнитной версией программы, то файл должен иметь расширение *.gmi2D и содержать 5N строк, где N – количество блоков. Под каждый блок отводится 5 строк, внутри каждой строки в качестве разделителя рекомендуется использовать пробел:

Первая строка – имя блока

Вторая строка – список координат вершин по горизонтальной оси

Третья строка – список координат вершин по вертикальной оси

Четвертая строка – плотность

Пятая строка – модуль индуцированной намагниченности, модуль остаточной намагниченности, наклонение и склонение остаточной намагниченности

Если вы работаете с GravInv2D, то файл должен иметь расширение *.gi2D и для блоков не нужно указывать параметры намагниченности (т.е. под каждый блок отводится 4 строки). В случае работы с MagInv2D файл должен иметь расширение *.mi2D и для блоков не указывается плотность (т.е. каждый блок имеет 4 строки).

Также блоки можно импортировать из файла с границами, как и априорные линии. Описание формата файла с границами приведено в разделе 10.2.3.

10.2.2 Поля, рельеф, точки наблюдения и дополнительные данные

Одномерные данные (поля, рельеф, точки наблюдения и дополнительные данные) можно импортировать в проект из файлов формата GMI 1D data (расширение *.txt), имеющего следующую структуру: первая строка является заголовочной, в ней можно задать любой текст, начиная со второй строки идут пары значений: расстояние по профилю и измеренное в этой точке значение. В качестве разделителя можно использовать пробел или знак табуляции. Пример:



X dg

0 2.1292

250 2.01951

500 1.89775

750 1.81165

1000 1.6869

1250 1.58873

1500 1.52995

1750 1.49287

10.2.3 Априорные линии

Априорные линии (границы), а также блоки для построения слоистой модели можно импортировать из файла формата GMI 1D Horizons (расширение *.txt), который имеет следующую структуру: для каждой границы необходимо создать два столбца – координаты X и глубина границы на этой координате. Пример:

X	Z1	X	Z2
0	868.404	0	2599.6
250	877.65	250	2599.68
500	889.51	500	2599.85
750	897.586	750	2599.91
1000	909.216	1000	2599.6

10.2.4 Точки

Точки в GravMagInv2D можно загружать и сохранять в файлы формата GMI 2D Points (расширение *.txt). Файлы данного формата являются текстовыми и имеют следующую структуру: файл начинается с заголовочной строки, в которой могут быть указаны названия столбцов или любая необходимая информация (при чтении файла программа пропускает первую строку). Далее все строки должны содержать 3 или 4 значений, разделенных пробелом или знаком табуляции: координата X, координата Z, имя



точки (**не используйте в имени точек пробелы и знаки табуляции**), имя группы точек (используется только при экспорте и игнорируется при импорте). Пример:

X	Y	Name
170500	500	Min_(170500,_500)
161000	750	Min_(161000,_750)
57000	1000	Min_(57000,_1000)
34000	1250	Min_(34000,_1250)
139500	1250	Min_(139500,_1250)