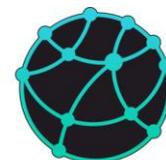
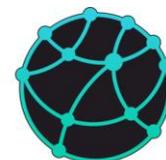


GravMagInv3D – руководство пользователя

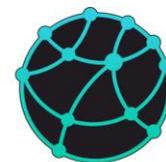


Оглавление

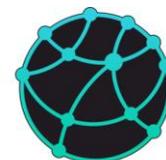
Введение.....	7
Список сокращений и терминов	8
1 Требования к системе.....	9
2 Установка и запуск.....	10
3 Интерфейс	12
4 Теория.....	13
5 Типы данных.....	16
5.1 Сеточные модели	16
5.2 3D Гриды	16
5.3 Слои.....	16
5.4 Тела (блочная модель).....	17
5.5 Поля.....	17
5.6 Точки наблюдения	17
5.7 Рельеф	17
5.8 Карты.....	17
5.9 Разломы.....	18
5.10 Профили	18
5.11 Скважины.....	18
5.12 Точки	18
5.13 Геометрические объекты.....	18
6 Создание и редактирование моделей и данных.....	20
6.1 Загрузка, сохранение и удаление данных.....	20
6.2 Ручное создание данных и моделей	25
6.2.1 Сеточные модели	25
6.2.2 Заполнение плотностной и магнитной модели по слоям	26
6.2.3 Добавление границы на постоянной глубине.....	27



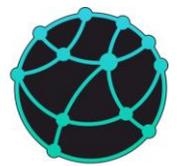
6.2.4	Тела	28
6.2.5	Профили	29
6.2.6	Скважины	30
6.2.7	Геометрические объекты	30
6.3	Интерполяция.....	30
6.3.1	2D интерполяция	30
6.3.2	3D интерполяция	31
6.3.3	Создание трехмерных моделей по скважинам	31
6.4	Редактирование данных и моделей.....	32
6.4.1	Регрид и экстраполяция	32
6.4.2	Заполнение пустот.....	33
6.4.3	Устранение пересечений в границах	34
6.4.4	Смещение координат	34
6.4.5	Задание координат углов	34
6.4.6	Ремасштабирование.....	35
6.4.7	Интерактивное редактирование горизонтов.....	35
6.4.8	Интерактивное редактирование положения тел.....	37
6.5	Математические операции с 3D сеточными моделями.....	37
6.5.1	Калькулятор 3D Гридов	37
6.5.2	Калькулятор 3D Сеточных моделей	40
6.5.3	Арифметические операции с моделью из файла	40
6.5.4	Производные	40
6.5.5	Послойный уровень.....	41
6.5.6	Сглаживание	41
6.5.7	Пересчет скорость ↔ плотность	42
6.5.8	Пересчет намагниченность ↔ магнитная восприимчивость	44
6.5.9	Статистика.....	45
6.5.10	Суммарная масса	45



7	Настройка и оформление данных	47
7.1	Настройка вычислений.....	47
7.2	Общие настройки вида	48
7.3	3D сеточные модели и гриды.....	50
7.4	Горизонты.....	52
7.5	Рельеф	53
7.6	Поля.....	54
7.7	Точки наблюдения	56
7.8	Карты.....	56
7.9	Тела	57
7.10	Разломы	58
7.11	Профили	58
7.12	Скважины.....	59
7.13	Геометрические объекты.....	60
8	Обработка площадных наблюдений	61
8.1	Ввод поправок в аномалии гравитационного поля	61
8.1.1	Общая информация	61
8.1.2	Поправки за высоту и плоскопараллельный слой.....	62
8.1.3	Топографическая поправка.....	62
8.2	Трансформации	63
8.2.1	Пересчет вверх и вниз	64
8.2.2	Производные	65
8.3	2D Фильтры	66
8.3.1	Общая информация	66
8.3.2	Типы фильтров.....	67
8.4	Калькулятор карт	69
9	Локализация особых точек	70
9.1	Поиск экстремумов.....	70



9.1.1	Экстремумы карт	70
9.1.2	Экстремумы 3D моделей	71
9.2	Вейвлет-анализ.....	72
9.3	Деконволюция Эйлера.....	74
10	Прямая и обратная задача гравиразведки и магниторазведки	76
10.1	Настройки прямой и обратной задачи	76
10.2	Параметры нормального магнитного поля.....	76
10.3	Прямая задача	77
10.3.1	Сеточные модели.....	77
10.3.2	Блочные модели.....	78
10.3.3	Увязка полей	79
10.4	Обратная задача.....	79
10.4.1	Сеточные модели.....	79
10.4.2	Подбор формы границ.....	83
10.4.3	Блочные модели.....	84
10.5	Учет априорных данных.....	86
10.5.1	Срединный регуляризатор.....	87
10.5.2	Градиентный регуляризатор.....	89
10.6	Совместная инверсия данных гравиразведки и магниторазведки	90
10.6.1	Сеточные модели.....	90
10.6.2	Подбор формы границы.....	91
11	Форматы данных	92
11.1	Используемые форматы.....	92
11.2	Описание внутренних форматов.....	93
11.2.1	3D сеточные модели.....	93
11.2.2	Тела (блоки)	93
11.2.3	Профили	95
11.2.4	Скважины	95



11.2.5	Таблица средних значений	96
11.2.6	Профильные поля	97
11.2.7	Точки.....	98



Введение

Программный модуль GravMagInv3D является частью программного комплекса GravMagInv и предназначен для решения трехмерной прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки для сеточных (грид) и блочных моделей. В программе используются следующие единицы измерения:

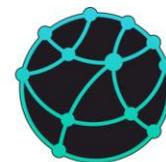
Физическая величина	Единица измерения
Дистанция и глубина	метры
Аномалии силы тяжести	мГал (по умолчанию) и мкГал
Аномалии магнитного поля	нТл
Плотность	г/см ³
Намагниченность	А/м
Магнитная восприимчивость	10 ⁻⁵ ед. СИ
Склонение и наклонение	градусы
Скорости упругих волн	м/с

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

Координаты сетки сеточных моделей задают координаты середины верхней грани каждой ячейки.

Обратите внимание, что **вертикальная ось (ось глубин)** в программе **направлена вниз**, за исключением случая задания высоты расчета прямой задачи. 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).

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

Δg – аномалии вертикальной составляющей силы тяжести

T – аномалии модуля вектора магнитной индукции

σ - плотность

J – модуль намагниченности

D – склонение

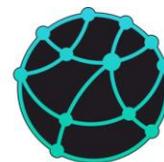
i – наклонение

V_p – скорость продольных волн

V_s – скорость поперечных волн

R - регуляризатор

Видимая модель – трехмерная сеточная модель или 3D грид, которая/который визуализируется в данный момент в окне для визуализации 3D моделей

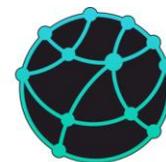


1 Требования к системе

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 на менее 32 байт оперативной памяти.



2 Установка и запуск

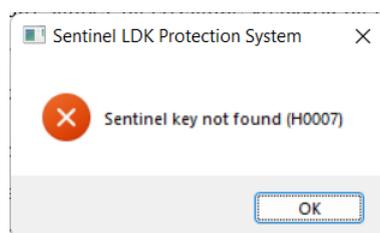
Программный модуль GravMagInv3D устанавливается путем запуска соответствующего исполняемого файла (названия исполняемых файлов обычно имеют следующую структуру: “Installer имя_модуля версия”).

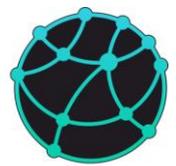
По ходу установки модуля необходимо:

- 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.

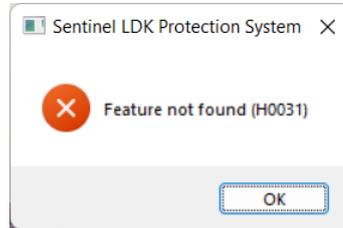
После установки на рабочем столе пользователя должна появиться ярлык GravMagInv3D, с помощью которого можно запустить приложение. В случаях, когда в настройках системы стоит запрет на создание ярлыков на рабочем столе, ярлык создан не будет. Приложение также можно запустить с помощью исполняемого файла GravMagInv3D.exe, который будет создан в директории установки.

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:

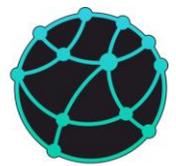




В случаях, когда присутствует USB-ключ с лицензией на другие версии ПО, входящие в состав GravMagInv или других приложений производителя, но не содержащий лицензию на запускаемую версию, возникнет следующая ошибка:



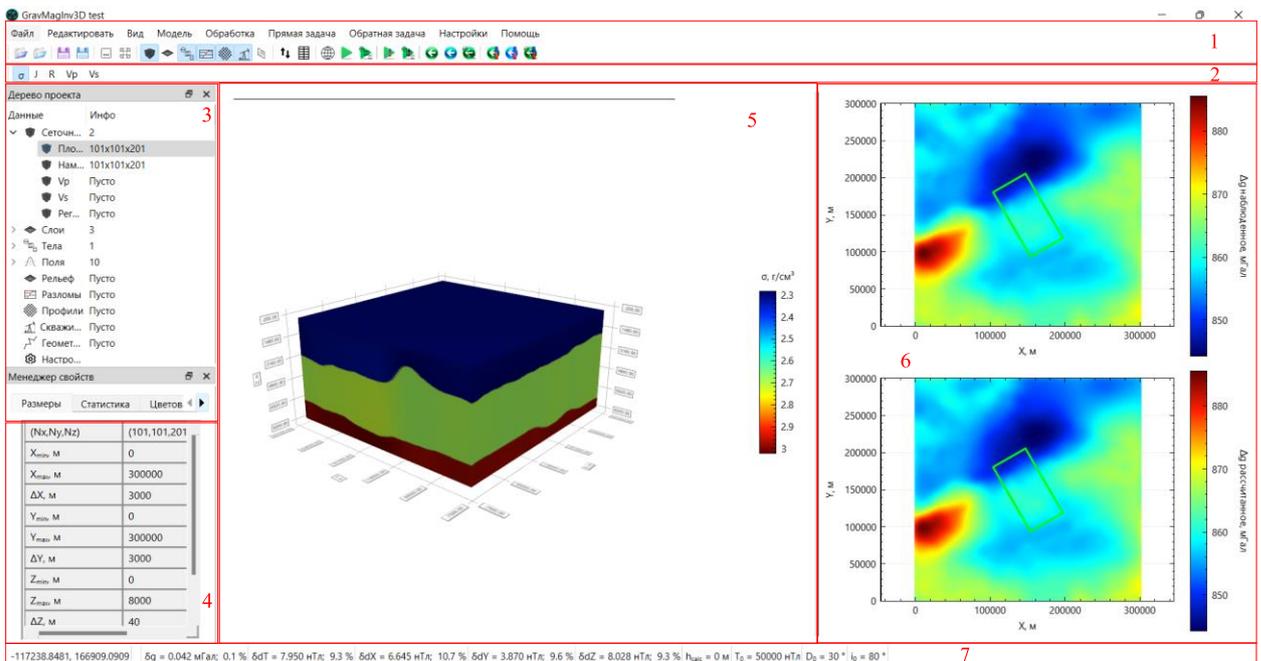
Если же при запуске приложения в одном из USB-портов компьютера присутствует USB-ключ, содержащий корректную лицензию, приложение запустится без дополнительных сообщений.



3 Интерфейс

Основное окно приложения GravMagInv3D 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) Окно с 3D моделями. В данном окне отображаются блочные и сеточные модели. Чтобы повернуть вид на 3D модель, необходимо зажать правую кнопку мыши (ПКМ) и перемещать курсор мыши.
- 6) Окна с картами наблюдаемых (верхнее окно) и рассчитанных полей (нижнее окно). Также в нижнем окне могут отображаться карты глубин границ и срезов значений с сеточных моделей вдоль кровли и подошвы.
- 7) Строка состояния, в которой отображается информация о положении курсора мыши и невязке между рассчитанным и наблюдаемым полем.





4 Теория

При решении прямой задачи гравиразведки вычисляется вертикальная компонента силы тяжести (принятые обозначения V_z или Δg). При решении прямой задачи магниторазведки вычисляются горизонтальные компоненты (ΔX и ΔY), вертикальная компонента (ΔZ), а также аномалии модуля индукции магнитного поля (ΔT).

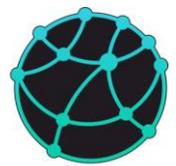
Прямая задача гравиразведки и магниторазведки для блочных моделей решается аналитически. Аномалии модуля вектора индукции магнитного поля определяются по формуле:

$$\Delta T = \sqrt{(X + \Delta X)^2 + (Y + \Delta Y)^2 + (Z + \Delta Z)^2} - T, \quad (1)$$

где X , Y , Z , T – соответствующие компоненты вектора индукции нормального магнитного поля, ΔX , ΔY и ΔZ – компоненты аномальной составляющей вектора индукции магнитного поля. Вычисление поля ΔT всей модели реализовано в двух вариантах. Первый вариант: если в проекте активировано вычисление всех компонент магнитного поля (т.е. ΔX , ΔY , ΔZ и ΔT), то сначала вычисляются суммарные поля ΔX , ΔY и ΔZ , после чего происходит вычисление поля ΔT все модели по формуле (1). Второй вариант: Если же включено вычисление поля ΔT , но не включено вычисление хотя бы одной из компонент ΔX , ΔY , ΔZ , то для каждой ячейки отдельно вычисляется поле ΔT по формуле (1), после чего поля ΔT всех ячеек суммируются. Первый вариант позволяет вычислять поле ΔT более точно, однако в случае хранения оператора прямой задачи в оперативной памяти, требует выделения большего количества оперативной памяти.

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 в узлах сеточной модели точек наблюдения.

Для учета краевых эффектов при работе с сеточной моделью, плотностная и магнитная модель продлеваются за пределы профиля, ширину продления можно регулировать с помощью параметра «Коэффициент расширения» во вкладке «Настройки» в дереве проекта. Данный параметр относительный, количество ячеек, до которого



расширяется модель по каждой оси при решении прямо и обратной задачи, можно вычислить как $2 * k + 1$ (k – коэффициент расширения), округленное до ближайшего в большую сторону числа, являющегося степенью двойки.

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

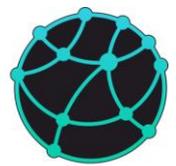
$$L = \sum_{i=1}^N (calc_i - obs_i)^2 \rightarrow min ,$$

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

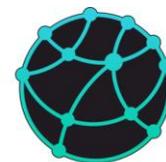
При решении обратной задачи гравиразведки и магниторазведки для сеточных моделей по полю, заданному на горизонтальной поверхности, точки, в которых задано наблюдаемое поле, и точки, в которых производится решение прямой задачи, должны совпадать.

Некоторые вычисления (например, решение прямой задачи на плоскости или расчет трансформаций) происходят в частотной области с использованием быстрого преобразования Фурье. Для максимального ускорения процесса вычислений происходит расширение данных по осям X и Y до количества ячеек, равного степени числа 2. Например, при пересчете поля, имеющего 150×340 ячеек, в верхнее полупространство, происходит его расширение до 256×512 ячеек.

При решении прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки минимальное количество ячеек расширенной модели можно регулировать с помощью коэффициента расширения. Данный параметр является относительным и регулирует количество ячеек, которое добавляется с каждой стороны модели. Например, если прямая задача решается для модели, разбитой на $150 \times 340 \times 210$ ячеек ($N_x \times N_y \times N_z$), а коэффициент расширения равен 1.5, то по осям X и Y с каждой стороны будет добавлено по $1.5N$ ячеек по данной оси и по оси X станет $150 + 1.5 * 150 * 2 = 600$ ячеек, а по оси Y $340 + 1.5 * 340 * 2 = 1360$ ячеек. По оси Z расширение не происходит и модель будет иметь $600 \times 1360 \times 210$ ячеек. Поскольку прямая и обратная задачи на плоскости решаются в частотной области, то полученное количество ячеек по горизонтальным осям далее будет увеличено до степени двойки и размер $600 \times 1360 \times 210$ перейдет в $1024 \times 2048 \times 210$.



При решении прямой и обратной задачи на произвольной поверхности количество ячеек не увеличивается, вместо этого границы крайних ячеек модели продлеваются на 5 длин модели по соответствующей горизонтальной оси.



5 Типы данных

5.1 Сеточные модели

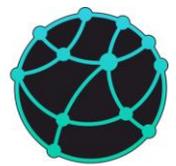
Сеточные модели – модели, разбитые на множество ячеек, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда одинакового размера. В программе имеется 5 видов сеточных моделей: плотность, намагниченность, скорости продольных волн (V_p), скорости поперечных волн (V_s) и регуляризатор. **Плотностная сеточная модель** используется для решения прямой и обратной задачи гравиразведки. **Сеточная модель намагниченности**, используются при решении прямой и обратной задачи магниторазведки. Направление намагниченности в слоях может отличаться от направления нормального поля, склонение и наклонение полного вектора намагниченности можно задавать через слои. **Сеточная модель намагниченности может быть пересчитана в магнитную восприимчивость** с помощью нажатия правой кнопкой мыши по сеточной модели намагниченности в дереве проекта и выбора пункта «Пересчитать в восприимчивость». **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 3D Гриды

3D Гриды – тип данных, аналогичный сеточным моделям. «3D гриды» могут использоваться для хранения промежуточных результатов моделирования или данных, не попадающих в категории, представленные в блоке «Сеточные модели» (плотность, намагниченность, V_p , V_s , регуляризатор). В отличие от «Сеточных моделей» и остальных типов данных, «3D Гриды» хранятся на диске (в системной временной директории либо в папке с текущим проектом) и загружаются в оперативную память только при их визуализации и использовании в калькуляторе.

5.3 Слои

Слои – информация о глубинах границ между слоями (горизонтов), представленная в сеточном виде (грид). При загрузке горизонтов в проекте автоматически создается горизонт, задающий верхнюю кромку верхнего слоя. Слои могут использоваться для заполнения 3D сеточных моделей, задания направления намагниченности в каждом слое, а



также для фиксации областей модели при решении обратной задачи (инверсии) гравиразведки и магниторазведки.

5.4 Тела (блочная модель)

Тела – геометрические объекты, с помощью которых можно строить плотностную и магнитную модель в виде набора изолированных тел. Для тел можно решать прямую и обратную задачу гравиразведки и магниторазведки. Каждое тело имеет следующие свойства: тип геометрии (сфера, тонкий стержень, прямоугольный параллелепипед), плотность, модуль вектора намагниченности, склонение и наклонение вектора намагниченности, координаты центра (для сферы) или центра верхней кромки (для тонкого стержня и прямоугольного параллелепипеда), ширина вдоль каждой оси или радиус сферы, углы поворота вокруг каждой оси (для тонкого стержня и прямоугольного параллелепипеда).

5.5 Поля

Поля – наблюдаемые и рассчитанные аномалии гравитационного и магнитного поля, представленные в сеточном виде (грид), т.е. представляют собой набор значений, распределенных с равномерным шагом вдоль осей X и Y.

5.6 Точки наблюдения

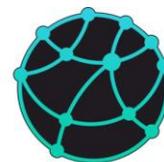
Точки наблюдения – набор положений точек (в виде грида), в которых задано наблюдаемое поле и в которых решается прямая задача. При импорте не забывайте, что вертикальная ось в GravMagInv3D направлена вниз, если грид с точками наблюдения задан в системе координат с вертикальной осью, направленной вверх, в программе можно инвертировать поверхность наблюдения.

5.7 Рельеф

Рельеф – набор положений точек поверхности дневного рельефа или поверхности наблюдения. Рельеф задается в сеточном виде (грид). Рельеф может использоваться для решения прямой задачи гравиразведки и магниторазведки, а также при инверсии для обрезки сеточных моделей

5.8 Карты

Карты – площадные данные, которые могут использоваться при качественном анализе в ходе моделирования. Также карты можно использовать для хранения и подстановки различных компонент наблюдаемого поля.



5.9 Разломы

- **Разломы** – набор трехмерных поверхностей разломов, которые визуализируются вместе с 3D моделью, на картах в виде 2D проекций на горизонтальную плоскость, а также на разрезах вдоль профилей.

5.10 Профили

Профили – набор положений прямолинейных профилей, которые задаются произвольной последовательностью координат (т.е. профили не обязательно должны быть прямолинейными). Профили могут использоваться для построения срезов с трехмерных сеточных моделей и площадных полей. Каждый профиль имеет следующие параметры: список координат, имя, шаг среза.

Также каждый профиль может содержать данные о гравитационном и магнитном поле с произвольным шагом, загруженные из текстового файла (т.е. данные, не снятые с карты наблюденного поля, загруженной в проект, а данные непосредственно с профиля).

5.11 Скважины

Скважины – набор положений скважин. Каждая скважина задается плановыми координатами X и Y, абсолютной отметкой устья, глубиной. Также каждой скважине можно задать имя, цвет и радиус (для 3D визуализации). Скважины могут использоваться для визуализации их положения на 3D модели и картах, построения трехмерных сеточных моделей и создания регуляризатора, фиксирующего свойства вблизи скважин, а также для экспорта срезов с сеточных моделей вдоль ствола скважины.

5.12 Точки

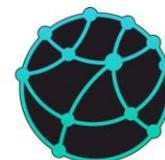
Точки – объекты, которые могут использоваться для визуализации на картах и объемной модели. Основное назначение точек при интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки – локализация особых точек (например, центров масс аномалообразующих объектов), однако точки также можно использовать для указания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

5.13 Геометрические объекты

Геометрические объекты – набор линий и полигонов, которые визуализируются на полях и картах. Полигоны также могут быть использованы для обрезки 3D сеточных моделей при их визуализации. Каждый геометрический объект имеет следующие свойства:



имя, цвет заливки и линии, прозрачность заливки, толщина линии. Геометрические объекты могут использоваться для визуализации их положения на картах.



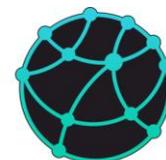
6 Создание и редактирование моделей и данных

6.1 Загрузка, сохранение и удаление данных

Все данные, загруженные в проект, можно сохранить в единый бинарный файл проекта 3Dproj (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:

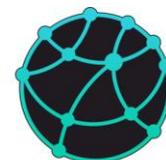
<i>Тип данных</i>	<i>Способы загрузки</i>
Проект	Меню «Файл – Открыть – Проект»
3D сеточная модель (плотность, намагниченность, V_p , V_s , регуляризатор)	Меню «Файл – Открыть – 3D сеточная модель» Правая кнопка мыши (ПКМ) на соответствующем пункте во вкладке «Сеточные модели» в дереве проекта - Открыть
3D Грид	ПКМ на вкладке «3D Гриды» в дереве проекта - Открыть
Наблюдаемые поля (Δg , ΔT , ΔX , ΔY , ΔZ)	Меню «Файл – Открыть – Наблюдаемое поле» ПКМ на соответствующем пункте во вкладке «Наблюдаемые поля – Гравитационное поле/Магнитное поле» в дереве проекта» – Открыть
Горизонты (верхние границы слоев)	Меню «Файл – Открыть – Горизонты» ПКМ на вкладке «Слои» в дереве проекта - Открыть
Тела (блочная модель)	Меню «Файл – Открыть – Тела» ПКМ на вкладке «Тела» в дереве проекта - Открыть
Рельеф	Меню «Файл – Открыть – Рельеф»



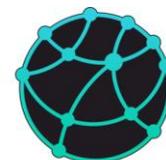
	ПКМ на вкладке «Рельеф» в дереве проекта - Открыть
Карты	ПКМ на вкладке «Карты» в дереве проекта - Открыть
Разломы	Меню «Файл – Открыть – Разломы» ПКМ на вкладке «Разломы» в дереве проекта - Открыть
Профили (координаты)	Меню «Файл – Открыть – Профили» ПКМ на вкладке «Профили» в дереве проекта - Открыть
Профильные поля	В окне профиля (открывается с помощью двойного нажатия ЛКМ по профилю в дереве проекта) меню «Файл – Открыть»
Скважины	Меню «Файл – Открыть – Скважины» ПКМ на вкладке «Скважины» в дереве проекта - Открыть
Геометрические объекты	Меню «Файл – Открыть – Геометрические объекты» ПКМ на вкладке «Геометрические объекты» 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)
3D сеточная модель (плотность, намагниченность, V_p , V_s , регуляризатор)	Меню «Файл – Сохранить – 3D сеточная модель» Правая кнопка мыши (ПКМ) на соответствующем пункте во вкладке «Сеточные модели» в дереве проекта - Сохранить



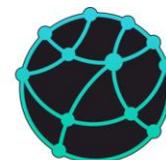
3D Грид	ПКМ на соответствующем элементе во вкладке «3D Гриды» в дереве проекта - Сохранить
Наблюденные и рассчитанные поля (Δg , ΔT , ΔX , ΔY , ΔZ)	Меню «Файл – Сохранить – Гравитационное поле / Магнитное поле». ПКМ на соответствующем пункте во вкладке «Поля – Гравитационное поле/Магнитное поле» в дереве проекта» Сохранить
Горизонты (верхние границы слоев)	Меню «Файл – Сохранить – Горизонты» ПКМ на вкладке «Слои» в дереве проекта - Сохранить
Тела (блочная модель)	Меню «Файл – Сохранить – Тела» ПКМ на вкладке «Тела» в дереве проекта - Сохранить
Рельеф	Меню «Файл – Сохранить – Рельеф» ПКМ на вкладке «Рельеф» в дереве проекта - Сохранить
Карты	ПКМ на вкладке «Карты» в дереве проекта – Сохранить (для сохранения всех карт в единую директорию) ПКМ на соответствующем элементе во вкладке «Карты» в дереве проекта – Сохранить (для сохранения одной карты)
Разломы	Меню «Файл – Экспорт – Разломы»
Профили	ПКМ на вкладке «Профили» в дереве проекта - Сохранить
Скважины	ПКМ на вкладке «Скважины» в дереве проекта - Сохранить
Геометрические объекты	ПКМ на вкладке «Геометрические объекты» в дереве проекта - Сохранить
Латеральное распределение плотности или	Открыть таблицу слоев (меню «Модель – Слои»), в появившемся окне выбрать вкладку «Плотность» или



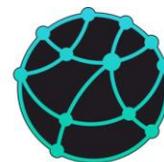
намагниченности у кровли или центра слоя	«Намагниченность». Далее нажать кнопку сохранить в соответствующей ячейке таблицы.
Срезы с данных (наблюденные поля и сеточные модели) вдоль профиля	Открыть профиль в новом окне (двойное нажатие левой кнопкой мыши (ЛКМ) по соответствующему профилю в дереве проекта). В открывшемся окне выбрать пункт меню «Файл – Сохранить». В выбранную директорию сохранятся файлы с полями и разрезами, а также файл проекта GravMagInv2D.
Срезы с видимой сеточной модели вдоль осей X, Y, Z.	Меню «Файл – Экспорт – Срезы X/Y/Z = const»
Срезы с видимой сеточной модели или с карт вдоль скважины	Нажать по соответствующей скважине в дереве проекта правую кнопку мыши и выбрать пункт в меню «Сохранить срез»
Средние значения на каждой глубине, рассчитанные по видимой 3D сеточной модели	Меню «Файл – Экспорт – Горизонтальные средние»

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

<i>Тип данных</i>	<i>Способы удаления / очистки</i>
Проект	Меню «Файл – Новый проект» (очистка всех данных проекта)
3D сеточная модель (плотность, намагниченность, V_p , V_s , регуляризатор)	Меню «Редактировать – Удалить – Плотность/Намагниченность/ V_p / V_s /Регуляризатор» Правая кнопка мыши (ПКМ) на соответствующем пункте во вкладке «Сеточные модели» в дереве проекта - Удалить
3D Грид	ПКМ на соответствующем элементе во вкладке «3D Гриды» в дереве проекта - Удалить



<p>Наблюденные и рассчитанные поля (Δg, ΔT, ΔX, ΔY, ΔZ)</p>	<p>ПКМ на вкладке «Наблюденные поля – Гравитационное поле/Магнитное поле» в дереве проекта» – Удалить все (для удаления всех полей)</p> <p>ПКМ на соответствующем пункте во вкладке «Поля – Гравитационное поле/Магнитное поле» в дереве проекта» – Удалить</p>
<p>Горизонты (верхние границы слоев)</p>	<p>ПКМ на вкладке «Слои» в дереве проекта – Удалить (для удаления всех границ)</p> <p>ПКМ на соответствующем пункте во вкладке «Слои» в дереве проекта» – Удалить (для удаления одной границы кроме самой верхней)</p>
<p>Тела (блочная модель)</p>	<p>ПКМ на вкладке «Тела» в дереве проекта – Удалить все тела (для удаления всех тел)</p> <p>ПКМ на соответствующем пункте во вкладке «Тела» в дереве проекта» – Удалить (для удаления одного тела)</p>
<p>Рельеф</p>	<p>ПКМ на вкладке «Рельеф» в дереве проекта - Удалить</p>
<p>Карты</p>	<p>ПКМ на вкладке «Карты» в дереве проекта – Удалить все (для удаления всех карт)</p> <p>ПКМ на соответствующем элементе во вкладке «Карты» в дереве проекта – Удалить (для удаления одной карты)</p>
<p>Разломы</p>	<p>ПКМ на вкладке «Карты» в дереве проекта – Удалить (для удаления всех разломов)</p>
<p>Профили</p>	<p>ПКМ на вкладке «Профили» в дереве проекта – Удалить (для удаления всех профилей)</p>



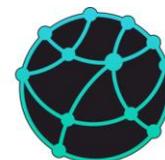
	ПКМ на соответствующем элементе во вкладке «Профили» в дереве проекта – Удалить (для удаления одного профиля)
Скважины	ПКМ на вкладке «Скважины» в дереве проекта – Удалить (для удаления всех скважин) ПКМ на соответствующем элементе во вкладке «Скважины» в дереве проекта – Удалить (для удаления одной скважины)
Геометрические объекты	ПКМ на вкладке «Геометрические объекты» в дереве проекта – Удалить (для удаления всех геометрических объектов) ПКМ на соответствующем элементе во вкладке «Геометрические объекты» в дереве проекта – Удалить (для удаления одного геометрического объекта)

6.2 Ручное создание данных и моделей

6.2.1 Сеточные модели

Трёхмерные сеточные модели в GravMagInv3D можно загружать из файла, либо создавать непосредственно в программе. Чтобы создать пустую (заполненную нулями) сеточную модель, необходимо воспользоваться меню «Модель – 3D Грид – Создать». Создать сеточную модель можно двумя способами:

- По координатам – в появившемся окне необходимо ввести минимальные и максимальные координаты по каждой оси, а также шаг;



	Минимум	Максимум	Шаг	Модель
X, м	0	1000	5	<input checked="" type="checkbox"/> Плотность
Y, м	0	1000	5	<input checked="" type="checkbox"/> Намагниченность
Z, м	0	300	5	<input type="checkbox"/> Vp <input type="checkbox"/> Vs

OK Отмена

- По горизонтам – если в проекте имеются загруженные границы, то параметры разбиения модели по горизонтальным осям будут определены на основе параметров сетки границ, и пользователю требуется ввести только параметры разбиения по вертикальной оси.

	Минимум	Максимум	Шаг	Модель
X, м	0	30000	200	<input checked="" type="checkbox"/> Плотность
Y, м	0	30000	200	<input checked="" type="checkbox"/> Намагниченность
Z, м	0	4000	40	<input type="checkbox"/> Vp <input type="checkbox"/> Vs

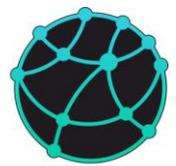
OK Отмена

В обоих случаях пользователю также требуется выбрать один или несколько типов создаваемых моделей. Если выбранные типы моделей уже загружены в проект, то они будут заменены пустыми моделями.

6.2.2 Заполнение плотностной и магнитной модели по слоям

Если в программе имеется 3D плотностная и/или магнитная сеточная модель, а также границы (слои) и параметры разбиения границ и 3D модели по горизонтальным осям совпадают (т.е. 3D модель и границы имеют одинаковое количество ячеек и координаты по осям X и Y), то плотностную и/или магнитную модель можно заполнить постоянными значениями или латеральным распределением.

Для послойного заполнения плотностной/магнитной модели необходимо воспользоваться опцией «Модель – Слои». Если в проекте имеется и плотностная, и магнитная модель, то появившееся окно будет иметь две вкладки: плотность и намагниченность:



Слой

Плотность Намагниченность

Кровля слоя	Плотность (σ)	Фиксировать σ	Заполнить σ	Импорт σ	Экспорт σ (кровля)	Экспорт σ (центр)	Экспорт σ (верт. среднее)
1 top	2.00609	<input type="checkbox"/>	Заполнить	Загрузить	Сохранить	Сохранить	Сохранить
2 Horizon 1	2.30253	<input type="checkbox"/>	Заполнить	Загрузить	Сохранить	Сохранить	Сохранить
3 Horizon 2	2.4	<input type="checkbox"/>	Заполнить	Загрузить	Сохранить	Сохранить	Сохранить

OK Отмена

Слой

Плотность Намагниченность

Кровля слоя	Намагниченность (J)	Склонение (D)	Наклонение (i)	Фиксировать J	Заполнить J	Импорт J	Экспорт J (кровля)	Экспорт J (центр)	Экспорт J (верт. среднее)
1 top	0	0	90	<input type="checkbox"/>	Заполнить	Загрузить	Сохранить	Сохранить	Сохранить
2 Horizon 1	0.814288	0	90	<input type="checkbox"/>	Заполнить	Загрузить	Сохранить	Сохранить	Сохранить
3 Horizon 2	0.000548158	0	90	<input type="checkbox"/>	Заполнить	Загрузить	Сохранить	Сохранить	Сохранить

OK Отмена

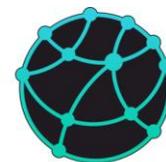
Для каждого слоя можно ввести значение плотности и/или намагниченности в столбце «Плотность (σ)» и «Намагниченность (J)» соответственно, и далее нажать кнопку «Заполнить» на соответствующей строке, чтобы заполнить слой введенным значением.

Каждому слою магнитной модели можно задать направление намагниченности, отличное от направления нормального магнитного поля. Для этого в соответствующей строке необходимо ввести в столбцы «Склонение (D)» и «Наклонение (i)» значения углов в градусах. Чтобы применить введенные склонения и наклонения, необходимо нажать кнопку «Ок» (кнопку «Заполнить» нажимать не нужно!).

Также для каждого слоя можно импортировать латеральное распределение плотности и/или намагниченности. Для этого необходимо нажать кнопку «Загрузить» в соответствующей строке.

6.2.3 Добавление границы на постоянной глубине

Помимо загрузки горизонтов из файлов, в GravMagInv3D возможно добавление в проект горизонта на постоянной глубине. Для этого используйте опцию «Редактировать – Горизонты – Добавить горизонт» или нажмите ПКМ по вкладке «Слои» в дереве проекта и выбрать пункт «Добавить горизонт – Глубина». После нажатия на соответствующий пункт



появится диалоговое окно, в котором необходимо указать глубину горизонта. Добавление горизонта возможно только в случае наличия в проекте какой-либо сеточной модели или других горизонтов, поскольку параметры сетки создаваемого горизонта считываются с уже имеющихся в проекте данных.

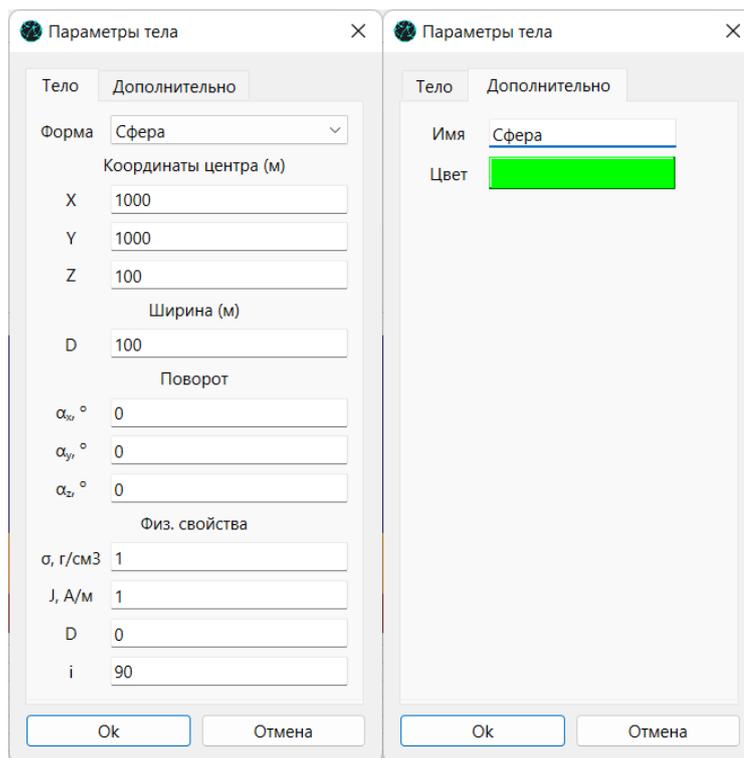
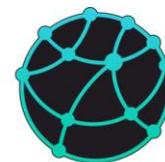
6.2.4 Тела

Трехмерные тела (элементы блочной модели) для плотностного и магнитного моделирования тела в GravMagInv3D можно загружать из файла, либо создавать непосредственно в программе. Добавить новое тело в проект можно с помощью опции «Модель – Тела – Добавить тело – Как тело» или нажатия ПКМ по вкладке «Тела» в дереве проекта и далее «Добавить тело». Далее появится окно с двумя вкладками: «Тело» и «Дополнительно».

Во вкладке «Тело» можно выбрать следующие параметры:

- Форма тела: сфера, тонкий стержень и прямоугольный параллелепипед;
- Координаты центра (x, y, z). Если в качестве формы выбрана сфера, то координаты задают положение центра сферы, в остальных случаях координаты задают положение середины верхней границы тела;
- Ширина (для сферы – диаметр; для тонкого стержня - длины осей сечения цилиндра и высота не повернутого цилиндра; для прямоугольного параллелепипеда – длина, ширина и высота не повернутого параллелепипеда);
- Углы поворота вокруг каждой оси (неактуально для сферы).
- Физические свойства: плотность, модуль намагниченности, склонение и наклонение вектора намагниченности.

Во вкладке «Дополнительно» можно задать имя тела и его цвет.



Также тела можно добавлять к 3D сеточной модели с помощью опции «Модель – Тела – Добавить тело - Как грид». В этом случае появится такое же окно, как при создании тела как элемента блочной модели. После выбора параметров плотностные и/или магнитные свойства тела будут прибавлены к сеточной модели.

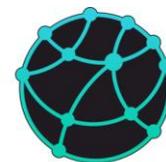
Кроме того, тела можно также добавлять в проект в виде границ. В таком случае после выбора параметров тел в проекте появятся горизонты, задающие верхнюю и нижнюю границу тела.

6.2.5 Профили

Профили в GravMagInv3D можно загружать из файла, либо создавать непосредственно в программе. Добавить новый профиль в программе можно двумя способами:

- Ручной ввод координат начала и конца профиля. Для этого нажмите ПКМ по вкладке «Профили» в дереве проекта и нажмите «Добавить». В появившемся окне необходимо ввести координаты начала и конца профиля.

- Интерактивно в окнах с картами основного окна программы. Для этого в основном окне GravMagInv3D нажмите по одному из двух окон с картами ПКМ и далее выберите пункт «Добавить профиль». Каждое нажатие левой кнопки мыши (ЛКМ) добавляет новую



точку профиля. Чтобы завершить рисовку профиля, сделайте двойное нажатие ЛКМ или нажмите Enter. Чтобы отменить интерактивное добавление профиля нажмите клавишу ESC.

6.2.6 Скважины

Скважины также можно создать вручную в проекте без загрузки из файла. Для этого нажмите ПКМ по вкладке «Скважины» в дереве проекта и далее выберете пункт «Добавить». В появившемся окне необходимо указать координаты центра скважины по осям X и Y, абсолютную отметку устья скважины (то есть отметку выше уровня моря), глубину, а также радиус при визуализации.

Параметр	Значение
X, м	16975
Y, м	15000
АО устья, м	0
Глубина, м	7000
Радиус, м	10

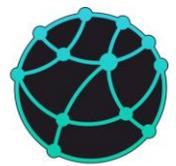
6.2.7 Геометрические объекты

Геометрические объекты также можно создать вручную в проекте без загрузки из файла. Для этого в основном окне GravMagInv3D нажмите по одному из двух окон с картами ПКМ и далее выберете пункт «Добавить полигон» или «Добавить линию». Далее после каждого нажатия ЛКМ в месте нажатия добавляется новая точка полигона/линии. Чтобы завершить рисовку геометрического объекта, сделайте двойное нажатие ЛКМ в любом месте окна с картой. Новая точка в месте двойного нажатия добавлена не будет. Чтобы отменить рисовку геометрического объекта нажмите клавишу ESC.

6.3 Интерполяция

6.3.1 2D интерполяция

2D интерполяция в GravMagInv3D предназначена для построения карт с регулярными данными (2D гридов) по нерегулярным площадным данным. Карты с регулярными данными при работе с GravMagInv3D могут использоваться в качестве наблюдаемых полей, поверхностей наблюдения, границ слоев и т.д.



Для создания 2D грида по неравномерным данным необходимо использовать опцию «Интерполяция – Гридирование 2D». В появившемся окне можно выбрать текстовый файл с данными, алгоритм интерполяции, первую строку и столбцы, из которых необходимо считывать координаты и измеренные значения.

После нажатия кнопки «Далее» произойдет переход к окну с финальными параметрами интерполяции, которые включают в себя параметры сетки (минимальная и максимальная координата и шаг или количество ячеек), флаг обрезки по внешнему контуру, имя карты в проекте и файла для сохранения. После нажатия на кнопку «Grid» запустится процесс интерполяции, по завершению которого будет создан 2D грид.

6.3.2 3D интерполяция

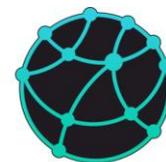
3D интерполяция в GravMagInv3D предназначена для построения трехмерных сеточных моделей (3D гридов) по нерегулярным объемным данным. Трехмерные сеточные модели при работе с GravMagInv3D могут использоваться для моделирования гравитационного поля (в случае плотностной модели), магнитного поля (в случае модели намагниченности), а также для различных математических операций и преобразований.

Для создания 3D грида по неравномерным данным необходимо использовать опцию «Интерполяция – Гридирование 3D». Дальнейшие шаги для 3D гридирования шагам для 2D гридирования, описанным в разделе [6.3.1](#).

6.3.3 Создание трехмерных моделей по скважинам

Для создание трехмерных сеточных моделей в GravMagInv3D можно использовать скважинные данные. Для этого предварительно нужно добавить в проект скважины (это можно сделать вручную или загрузить их из файла), и загрузить для каждой скважины каротажные кривые из LAS файлов путем нажатия правой кнопкой мыши по каждой скважине в дереве проекта и выбора пункта «Импорт каротажей».

На следующем этапе необходимо нажать правой кнопкой мыши по элементу «Скважины» в дереве проекта и выбрать пункт «Создать 3D грид». После этого появится окно, в котором необходимо сделать следующие действие:



- выбрать параметры интерполяции (по аналогии с 2D и 3D интерполяцией по нерегулярным данным);
- выбрать каротаж, по которому будет строиться модель
- при необходимости ввести формулу, по которой будет преобразовываться каротажная кривая (в качестве обозначения переменной в формуле необходимо использовать заглавную латинскую букву A);
- выбрать или исключить скважины из списка;
- выбрать тип заполнения каждого слоя, если в проекте имеются слои. В программе реализовано 4 варианта заполнения: по глубине (т.е. свойства будут распространяться горизонтально), параллельно кровле, параллельно подошве и «по кровле-подошве» (в этом случае вблизи кровли слоя заполнение будет происходить практически параллельно кровле, и вблизи подошвы – практически параллельно подошве);
- после настройки всех параметров необходимо нажать кнопку Grid, после завершения всех вычислений новая 3D модель будет добавлена с список 3D гридов.

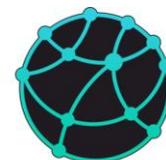
Стоит отметить, что обычно в плотностных и магнитных моделях шаг по вертикали значительно превышает шаг в каротажных данных, из-за чего на моделях, построенных по скважинам, может появляться высокочастотный шум. Для устранения высокочастотного шума можно воспользоваться опцией сглаживания 3D модели, которая описана в разделе [6.5.6](#).

6.4 Редактирование данных и моделей

6.4.1 Регрид и экстраполяция

У сеточных моделей, 3D гридов, горизонтов, наблюдаемых полей, точек наблюдения 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>
---------------	------------------------------------

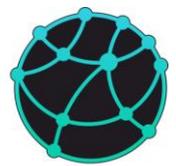


Сеточные модели	<p>Меню «Редактировать – Сеточные модели – Параметры разбиения»</p> <p>ПКМ в дереве проекта на вкладке «Сеточные модели» - Регрид (для изменения параметров всех сеточных моделей одновременно)</p> <p>ПКМ в дереве проекта на соответствующем элементе во вкладке «Сеточные модели» - Регрид (для изменения параметров конкретной сеточной модели)</p>
3D Гриды	ПКМ в дереве проекта на соответствующем элементе во вкладке «3D Гриды» - Регрид
Горизонты (границы)	Меню «Редактировать – Горизонты – Параметры разбиения» (параметры меняются для всех границ одновременно)
Наблюденные поля	Меню «Редактировать – Наблюденное поле – Параметры разбиения» (параметры меняются для всех наблюдаемых полей одновременно)
Точки наблюдения	ПКМ в дереве проекта на вкладке «Точки наблюдения – Гравirazведка/Магниторазведка» - Регрид
Рельеф	ПКМ в дереве проекта на вкладке «Рельеф» - Регрид

Для каждой ячейки данных с новыми параметрами разбиения значение определяется с помощью билинейной интерполяции для двумерных данных (поля, карты, горизонты, рельеф) и метода ближайшего соседа для трехмерных данных (сеточные модели и 3D гриды). Продление данных за изначальные пределы осуществляется путем продления соответствующего ряда или столбца ячеек.

6.4.2 Заполнение пустот

В горизонтах, сеточных моделях и наблюдаемых полях можно автоматическим заполнить пустые значения с помощью опции «Редактировать – Сеточные модели/Горизонты/Наблюденное поле – Заполнить пустоты». Значение для заполнения в двумерных данных определяется как средневзвешенное по ближайшим значениям слева (X), справа (X), сверху (Y) и снизу (Y), в качестве веса выступает обратное расстояние.



Заполнение трехмерных моделей происходит по слоям ячеек, в каждом слое ячеек заполнение происходит аналогично двумерным данным.

6.4.3 Устранение пересечений в границах

Наличие пересечений в структурных поверхностях, которые используются для построения слоистых моделей, может привести к ошибкам при заполнении модели по слоям (в том числе при построении модели по скважинам) и при фиксации слоев в ходе решения обратной задачи. Чтобы избежать ошибок при моделировании, рекомендуется устранять пересечения в границах. Для этого необходимо нажать правой кнопкой мыши по элементу «Слой» в дереве проекта и выбрать пункт «Проверить пересечения». Если границы имеют пересечения, то появится диалоговое окно, в котором будут указаны пересекающиеся границы, а также три варианта действий: поднять верхний горизонт (т.е. та граница, которая в среднем находится выше, будет поднята в области пересечения, где она оказалась ниже), опустить нижний горизонт (т.е. та граница, которая в среднем находится ниже, будет опущена в области пересечения, где она оказалась выше) и пропустить (т.е. проигнорировать пересечение). Такое диалоговое окно будет последовательно появляться для всех пар пересекающихся границ.

Также в GravMagInv3D происходит автоматическая проверка на пересечение границ перед запуском решения прямой и обратной задачи.

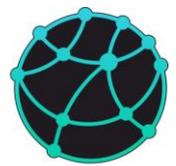
6.4.4 Смещение координат

«Левый нижний угол» (в плоскости XOY , «вид сверху») модели, горизонтов и наблюдаемых полей можно сдвинуть на нулевые координаты ($X = 0$, $Y = 0$) с помощью опции «Редактировать – Сеточные модели/Горизонты/Наблюдаемое поле – Сместить координаты на 0» или на заданную координату с помощью опции «Редактировать – Сеточные модели/Горизонты/Наблюдаемое поле – Сместить координаты». При смещении на заданные координаты появляется окно, в котором необходимо ввести координаты «левого нижнего угла».

При смещении сеточных моделей процедура применяется к видимой сеточной модели (т.е. той, которая в данный момент визуализируется в окне для 3D визуализации).

6.4.5 Задание координат углов

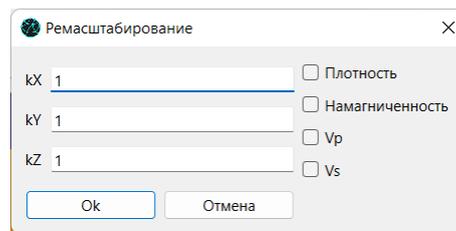
В случаях, когда импортированная сеточная модель или 3D грид имеет некорректные координаты (например, если они неправильно заполнены в импортируемом файле), координаты углов модели можно задать вручную. Задать координаты видимой



сеточной модели или 3D грида можно с помощью опции «Редактировать – Сеточные модели – 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.

6.4.6 Ремасштабирование

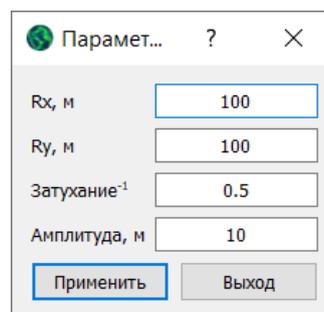
Если координаты импортированной сеточной модели заданы не в метрах, то их можно перевести в метры с помощью опции «Редактировать – Сеточные модели – Ремасштабировать». В появившемся окне необходимо ввести масштабные коэффициенты для каждой оси, а также выбрать один или несколько типов сеточных моделей,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



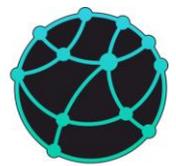
Для изменения масштаба координат 3D грида необходимо нажать по соответствующему пункту во вкладке «3D Гриды» в дереве проекта и далее выбрать пункт «Ремасштабировать».

6.4.7 Интерактивное редактирование горизонтов

В GravMagInv3D реализована возможность ручного редактирования горизонтов. Для этого необходимо включить визуализацию горизонтов  и режим редактирования . После включения режима редактирования появится окно с параметрами:



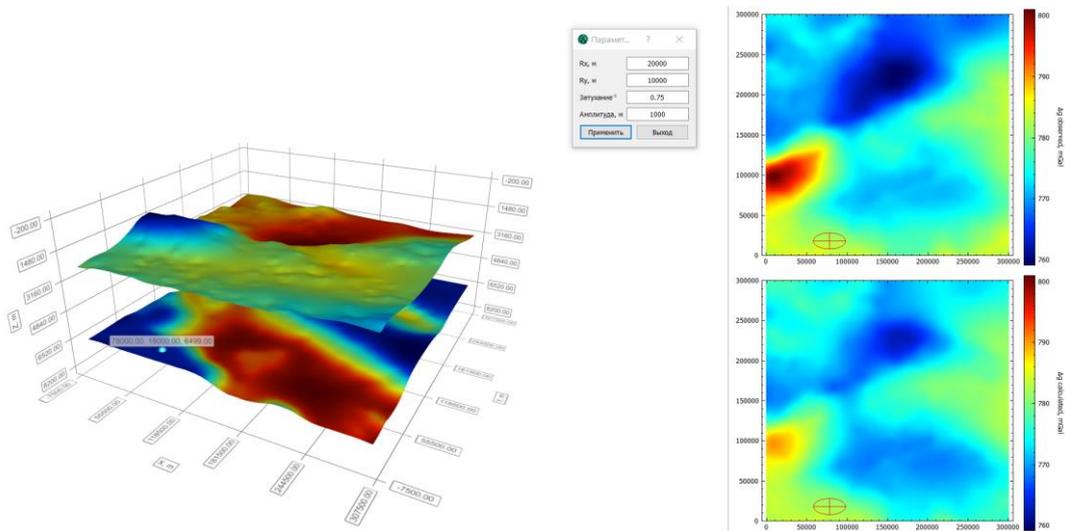
- Rx – полуось изменяемой области вдоль оси X;
- Ry – полуось изменяемой области вдоль оси X;



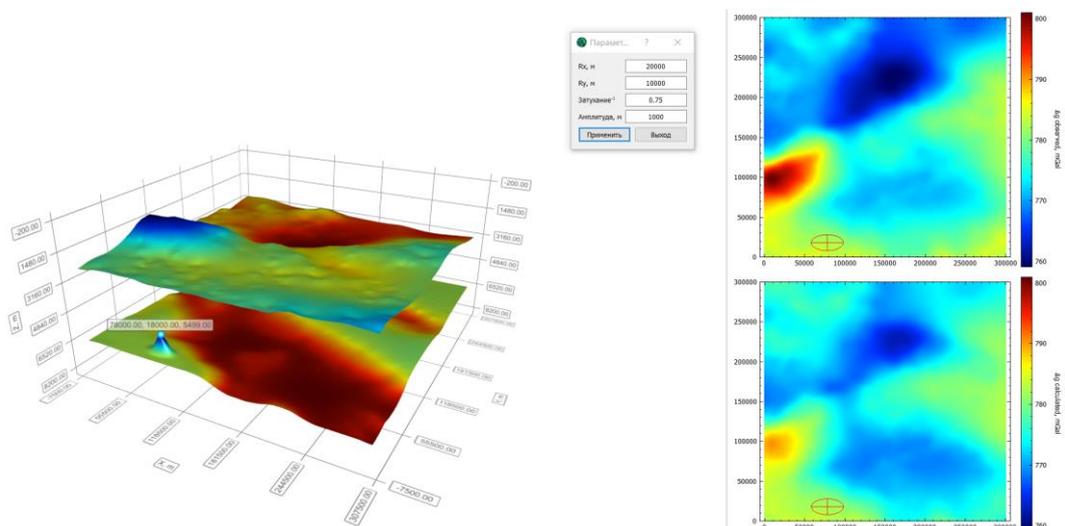
- Затухание⁻¹ – параметр, регулирующий гладкость изменения глубин;
- Амплитуда – максимальное изменение глубины горизонта после нажатия стрелок клавиатуры.

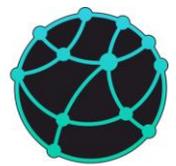
Чтобы применить введенные параметры редактирования нажмите кнопку «Применить» или клавишу Enter на клавиатуре.

Изменение глубин горизонта происходит в пределах эллипса с полуосями Rx и Ry, центр эллипса задается с помощью левой кнопкой мыши по соответствующей точке горизонта. Также координату центра эллипса можно задать на карте наблюдаемого или рассчитанного поля:



Для увеличения/уменьшения глубины горизонта в пределах выбранной области нажмите стрелку вверх/вниз на клавиатуре:





Изменение глубины в пределах эллипса происходит гладко, максимальное значение изменения глубины соответствует центру эллипса и убывает к краям по гауссовой функции. Чем больше значение параметра «Затухание⁻¹», тем быстрее происходит убывание. При больших значениях данного параметра убывание происходит медленно.

При изменении горизонтов, плотностная и магнитная модель пересчитываются автоматически (если они имеются в проекте), измененная область заполняется латеральным распределением плотности и/или намагниченности вблизи кровли/подошвы соответствующего слоя.

6.4.8 Интерактивное редактирование положения тел

Имеющиеся в проекте тела можно интерактивно перемещать с помощью курсора мыши по площади и вдоль профиля.

Для перемещения тела по площади, сначала убедитесь, что проекции тел визуализируются в окнах с картами основного окна GravMagInv3D. Далее наведите курсор мыши на контур тела в окне с картами, нажмите ЛКМ и перемещайте курсор мыши.

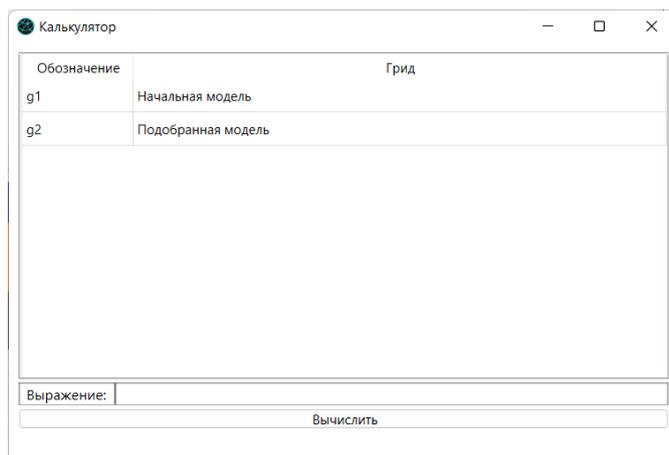
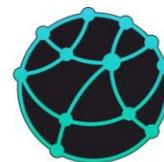
Для перемещения тела вдоль профиля, сначала необходимо открыть окно с профилем, который пересекает тело (двойное нажатие ЛКМ по соответствующему профилю в дереве проекта). Далее наведите курсор мыши на контур тела в окне с картами, нажмите ЛКМ и перемещайте курсор мыши.

6.5 Математические операции с 3D сеточными моделями

6.5.1 Калькулятор 3D Гридov

С загруженными в программу 3D ГрИдами (т.е. объектами, список которых находится в дереве проекта во вкладке «3D ГрИды») можно выполнять поэлементные вычисления по произвольным формулам с помощью встроенного калькулятора. Используемые в вычислениях грИды обязательно должны иметь одинаковые параметры разбиения.

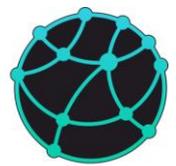
Чтобы открыть калькулятор, необходимо нажать ПКМ на вкладке «3D ГрИды» в дереве проекта и выбрать пункт «Калькулятор». Далее, появится окно, со списком грИдов и соответствующими для них обозначениями, которые необходимо использовать в формулах:



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

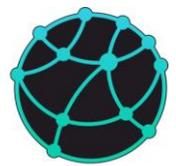


Десятичный логарифм	$\text{Math.log10}(\text{аргумент})$	$\text{Math.log10}(g2)$
Синус*	$\text{Math.sin}(\text{аргумент})$	$\text{Math.sin}(g2 / g3)$
Косинус*	$\text{Math.cos}(\text{аргумент})$	$\text{Math.cos}(g2 / g3)$
Тангенс*	$\text{Math.tan}(\text{аргумент})$	$\text{Math.tan}(g2 / g3)$
Больше	>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

* - аргумент тригонометрических функций должен быть в радианах

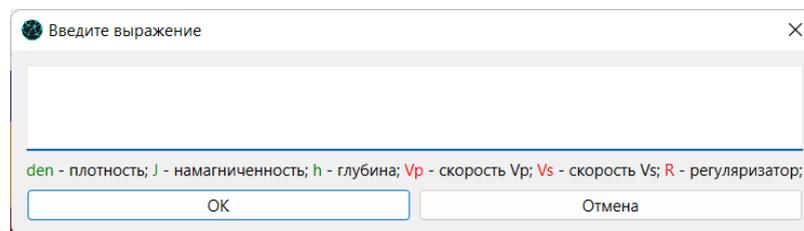
В выражениях может участвовать произвольное количество 3D гридов и чисел. Также в выражении (начиная с версии 2023.12.1) могут участвовать координаты x, y, z, а также номер слоя (обозначается заглавной буквой L, после которой без пробелов и других символов указывается номер слоя, например, L12 – слой под номером 12). В выражении обязательно должен участвовать хотя бы один 3D грид для автоматического определения параметров сетки. Если требуется создать 3D грид по координатам и картам без фактического использования существующих 3D гридов для вычислений, достаточно добавить в любую часть формулы 3D грид с подходящими параметрами разбиения, умноженный на ноль (например, $m1 * z + g1 * 0$ – в этом случае программа создаст 3D грид, умножая карту m1 на глубину, при этом параметры разбиения будут браться с 3D грида g1).

Результат вычисления выражения добавляется в проект в виде нового 3D грида.



6.5.2 Калькулятор 3D 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 – 3D 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 3D гридов (см. раздел [6.5.1](#))

6.5.3 Арифметические операции с моделью из файла

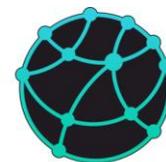
Видимую (т.е. визуализируемую в данный момент) трехмерную сеточную модель или 3D грид можно сложить/вычесть/умножить/разделить на сеточную модель из файла с помощью опций «Модель – 3D Грид – Математические операции – Прибавить/Вычесть/Разделить на/Умножить на куб». После выбора одной из перечисленных 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.

Также к видимой модели или гриду можно прибавить средние значения на каждой глубине, вычисленные по сеточной модели из файла.

Результат вычислений заменит исходную модель или грид.

6.5.4 Производные

По видимой сеточной модели или 3D гриду можно рассчитать производные по каждой оси ($\partial/\partial x$, $\partial/\partial y$, $\partial/\partial z$), модуль горизонтального и полного градиента с помощью



конечных разностей. Опции для расчета производных и градиента находятся в меню «Модель – 3D Грид – Математические операции – Градиент».

6.5.5 Послойный уровень

По видимой сеточной модели или 3D гриду можно рассчитать распределение избыточных значений путем вычитания средних или минимальных значений на каждой глубине с помощью опций «Модель – 3D Грид – Послойный уровень – Удалить средние/минимумы». Данные опции актуальны, например, при работе с плотностными моделями.

Также по видимой модели можно рассчитать средние значения на каждой глубине и заполнить ими каждый слой ячеек с помощью опции «Модель – 3D Грид – Послойный уровень – Рассчитать средние».

Результат вычисления избыточных или средних значений заменяет видимую модель.

6.5.6 Сглаживание

Видимую трехмерную модель можно сгладить с помощью опции «Модель – 3D Грид – Сгладить». При активации данной опции открывается окно с выбором параметров сглаживания:

Параметр	Значение	Кол-во ячеек
Тип области	Вся модель	
Слой	top	
Тип фильтра	Скользящее среднее	
dx, м	1000	5
dy, м	1000	5
dz, м	100	5

Параметры сглаживания включают в себя:

- Тип сглаживаемой области: вся модель (сглаживание происходит по всем ячейкам), слой (сглаживание происходит только по ячейкам, попадающим в выбранный слой, при этом при сглаживании значений у кровли также участвуют ячейки с вышележащего слоя при достаточной вертикальной ширине окна), вдоль кровли (сглаживание происходит по ячейкам, которые находятся выше и ниже кровли вышележащего слоя на расстоянии не более половины вертикальной ширины окна).



- Слой (актуально при сглаживании в слое или вдоль кровли слоя).

- Тип фильтра – в текущей версии доступно только скользящее среднее, т.е. в каждой ячейке новое значение рассчитывается как среднее арифметическое значений ячеек, попадающих в окно фильтра, помещенное в центр текущей ячейки.

- Ширина фильтра по осям X (dx), Y (dy), Z (dz).

После выбора параметров фильтра и нажатия кнопки «Ок» происходит сглаживание, и видимая модель заменяется сглаженной.

6.5.7 Пересчет скорость ↔ плотность

В GravMagInv3D 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.

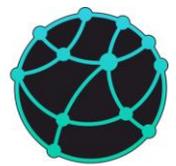
Пересчет скорость – плотность по формуле Гарднера

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 – 3D 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 слоя воспользуйтесь опцией «Модель – 3D Грид – (Глубина, Скорость) - Плотность – Формулы».



После нажатия откроется окно, в котором будет список слоев, 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 V_s) и глубина (обозначается h). Синтаксис формул аналогичен синтаксису калькулятора 3D гридов (см. пункт [6.5.1](#)).



Также в GravMagInv3D 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 – 3D Грид – (Глубина, Плотность) – Скорость – Формула Гарднера»

Для пересчета плотности в Vp с помощью разных формул для разных слоев воспользуйтесь опцией «Модель – 3D 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».

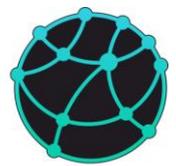
6.5.8 Пересчет намагниченность ↔ магнитная восприимчивость

При магнитном моделировании в GravMagInv3D 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 GravMagInv3D используется 10^{-5} ед. СИ, для намагниченности используются А/м.

Для пересчета сеточной модели магнитной восприимчивости в намагниченность необходимо сделать ее активной (т.е. визуализировать необходимый 3D грид), после чего нажать на пункт меню «Модель – 3D грид – Магн. Восприимчивость – Намагниченность».

Пересчет распределения намагниченности в магнитную восприимчивость осуществляется аналогично с помощью опции «Модель – 3D 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 k 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.

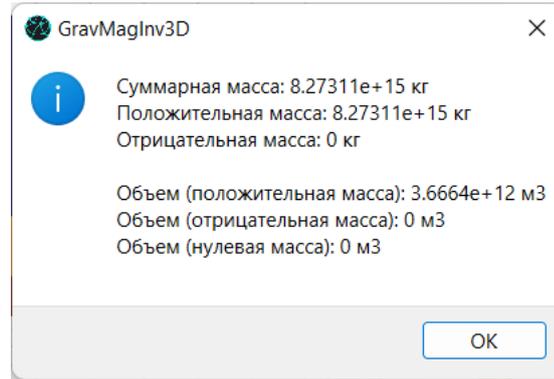
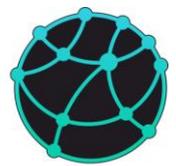
6.5.9 Статистика

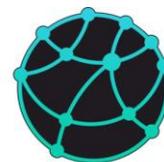
Для видимой сеточной модели или 3D грида можно рассчитать послойную статистику (минимальное, максимальное и среднее значение) с помощью опции «Модель – 3D Грид – Статистика». После нажатия на соответствующую кнопку, откроется окно, в котором подписываются минимальное, максимальное и среднее значение, определенные по видимой модели в каждом слое, а также по всей модели.

	Имя слоя	Минимум	Максимум	Среднее
1	top	2	2.0359	2.00609
2	Horizon 1	2.24675	2.3513	2.30253
3	Horizon 2	2.4	2.4	2.4
4	Все	2	2.4	2.25647

6.5.10 Суммарная масса

Для видимой сеточной модели можно рассчитать «Суммарную массу» - сумму масс ячеек, масса каждой ячейки вычисляется как произведение значения физического свойства ячейки на ее объем. Если визуализируется распределение плотности, то результат вычислений будет равен массе. Расчет суммарной массы осуществляется с помощью опции «Модель – 3D Грид – Суммарная масса». После нажатия соответствующей кнопки, программа вычислит суммарную массу и объем по всей модели, а также суммарную массу и объем ячеек с положительными и отрицательными значениями (актуально, например, в случае работы с распределением избыточной плотности или намагниченности).





7 Настройка и оформление данных

7.1 Настройка вычислений

Настройки вычислений в проекте в GravMagInv3D 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 GravMagInv3D). 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 моделировании на произвольной поверхности (точках наблюдения), расчете топографической поправки и трансформациях, использующих истокообразную аппроксимацию;

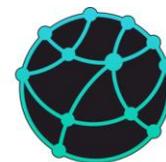
- Количество вычислительных потоков (только для центрального процессора, распараллеливание на видеокарте происходит автоматически);

- Коэффициент расширения (k) – относительный параметр, через который задается степень расширения модели для учета краевых эффектов. Данный параметр относительный, количество ячеек, до которого расширяется модель по каждой оси при решении прямо и обратной задачи, можно вычислить как $(2 * k + 1)$, округленное до ближайшего в большую сторону числа, являющегося степенью двойки.

- Параметры хранения эффектов (оператора прямой задачи). Если данный пункт активен, то после решения прямой или обратной задачи оператор прямой задачи остается в оперативной памяти. Хранение оператора прямой задачи может ускорить процесс решения прямой задачи и инверсии, но может замедлить работу устройства и других приложений.

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

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



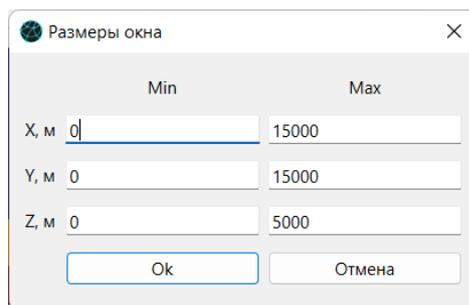
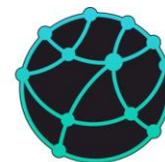
- Фоновая плотность - значение плотности, которое вычитается из всех блоков и ячеек сеточной модели при решении прямой задачи. Данный параметр актуален при моделировании с учетом рельефа, когда используется наблюдаемое поле в редукции Буге. В таком случае в качестве фоновой плотности рекомендуется указывать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

- Параметры ограничения области влияния – параметры, позволяющие исключать из решения прямой задачи удаленные ячейки при моделировании на произвольной поверхности (точках наблюдения). Исключение далеких ячеек снижает точность решения прямой задачи, однако может позволить значительно ускорить вычисления. Ограничить область влияния можно двумя способами: по отношению к амплитуде и по горизонтальному удалению. В первом случае радиус влияния ячейки вычисляется по гравитационному полю точечного источника – максимальное удаление соответствует точке, в которой отношение амплитуды гравитационного поля к максимальной амплитуде равно величине, введенной в поле «Мин. отношение». Чем меньше «Мин. отношение», тем больше будет радиус влияния ячеек и тем точнее и дольше будет решаться прямая задача. Если же ограничение области влияния осуществляется через горизонтальное удаление, то в поле «Радиус влияния» необходимо ввести максимальное горизонтальное удаление ячейки в метрах, при котором гравитационный и магнитный эффект ячейки будет учитываться при решении прямой задачи.

7.2 Общие настройки вида

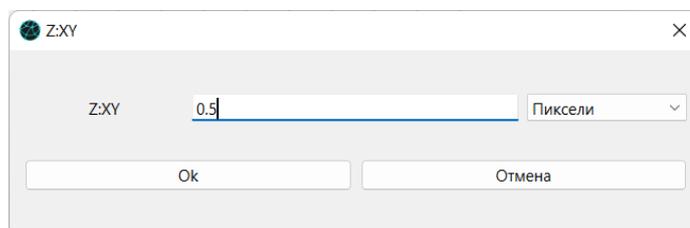
Общие настройки вида включают в себя следующие настройки:

- Изменение размеров окон. Настраивать размеры окон можно с помощью меню «Вид – Размеры окон». 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). Обратите внимание, что если какие-либо трехмерные объекты выходят за выбранные интервалы, то программа автоматически подберет такие пределы осей в окне для 3D визуализации, при которых все объекты будут попадать в видимую область.

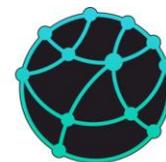


При задании размеров окна автоматически, программа подберет минимальное и максимальное значение по каждой оси таким образом, чтобы все объекты, имеющиеся в проекте, попадали в заданные интервалы, а также соотношение масштабов горизонтальных осей было 1:1.

- Изменение соотношения вертикальной и горизонтальных осей. В программе горизонтальные оси всегда имеют одинаковый масштаб (то есть $X:Y = 1 : 1$). Задать соотношение между вертикальной осью Z и горизонтальными осями можно с помощью меню «Вид – $Z:XY$ ». В окне, которое открывается после вызова данной опции, можно выбрать один из двух вариантов задания соотношения масштабов: по пикселям («Пиксели») и по расстояниям («Расстояние»). В первом случае можно задать соотношение между видимыми длинами между вертикальной осью и наиболее длинной из горизонтальных осей. Например, если введено значение 0.5, то видимая длина вертикальной оси будет в два раза меньше, чем длина наиболее длинной из горизонтальных осей. Если же выбрано задание масштаба по расстоянию, то введенное значение показывает, во сколько раз больше расстояние откладывается по горизонтальным осям, чем по вертикальной при их одинаковой видимой длине.



- Включение / отключение осей карт и 3D модели. Данная опция находится в меню «Вид – Дополнительно – Оси (Карты) / Оси (3D)» или во вкладке «Настройки» в дереве проекта.



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

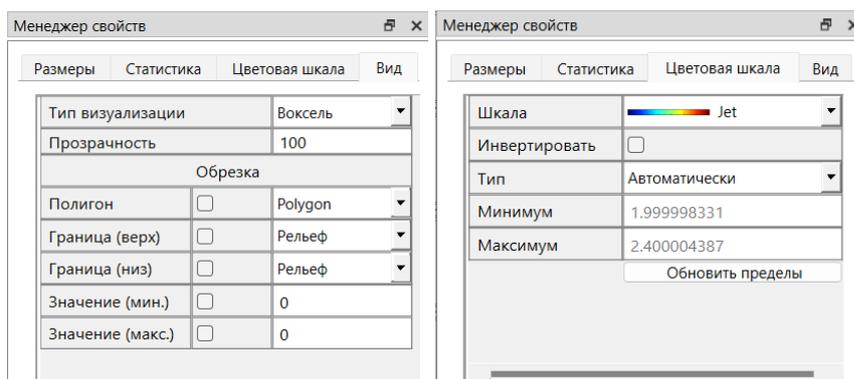
Также в меню «Настройки – Общие» можно настроить цветовую шкалу «Сеточных моделей» и карт – выбрать раскраску, инвертировать шкалу, а также задать направление возрастания значений.

Помимо общих настроек вида, в GravMagInv3D также можно настраивать внешний вид отдельных объектов, загруженных в программу.

7.3 3D сеточные модели и гриды

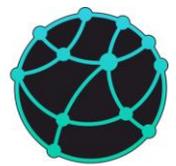
Визуализацию трехмерных сеточных моделей и гридов можно включать и выключать с помощью опции «Вид – Тип модели – 3D Грид». Переключать тип сеточной модели можно либо с помощью двойного нажатия ЛКМ по соответствующей модели в дереве проекта, либо с помощью меню «Вид – 3D Грид». Также для удобства список сеточных моделей вынесен на панель инструментов.

Настройка внешнего вида сеточных моделей и 3D Гридов осуществляется с помощью менеджера свойств. Сначала необходимо нажать левой кнопкой мыши в дереве проекта по сеточной модели или 3D гриду, после чего в менеджере свойств появятся вкладки с информацией и настройками для данного грида. За настройки внешнего вида отвечают две вкладки: «Вид» и «Цветовая шкала»



Во вкладке «Вид» имеются следующие опции и настройки:

- Тип визуализации: воксель или плоскости. Рекомендуется использовать первый тип визуализации, для которого актуальны все последующие настройки (например,



прозрачность или обрезка). Тип визуализации «плоскости» использовался в ранних версиях программы и не подразумевает настройки прозрачности и обрезки.

- Прозрачность: сеточную модель можно сделать прозрачной, значению 100 соответствует полностью непрозрачная модель, значению 0 – абсолютно прозрачная модель.

- Обрезка по полигону: сеточную модель можно обрезать по одному из полигонов, загруженных в проект в качестве «геометрических объектов».

- Обрезка по границе сверху и снизу: сеточную модель можно обрезать сверху и снизу по рельефу или одной из границ, загруженных в проект (вкладка «Слой» в дереве проекта).

- Обрезка по значению: сеточную модель можно обрезать по интервалу значений и сделать прозрачными те ячейки, которые не попадают в заданный интервал.

- Включение и выключение маскирования по наблюдаемым полям и рельефу. Если опция включена, то в точках, в которых на всех загруженных наблюдаемых или рельефе имеются бланковочные значения, 3D модель становится прозрачной.

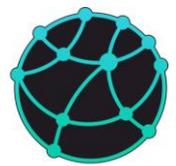
Обратите внимание, что настройки во вкладке «Вид» (за исключением мин. и макс. значений) сохраняются при переключении между сеточными моделями и 3D гридами.

С помощью вкладки «Цветовая шкала» можно задать индивидуальные настройки цветовой шкалы для каждой сеточной модели и 3D грида. В GravMagInv3D имеются следующие настройки цветовой шкалы:

- Вид цветовой шкалы («Шкала»): пользователь может выбрать одну из встроенных в программу палеток. Обратите внимание, что все «Сеточные модели» имеют общую цветовую шкалу, а «3D Гриды» могут иметь различные цветовые шкалы.

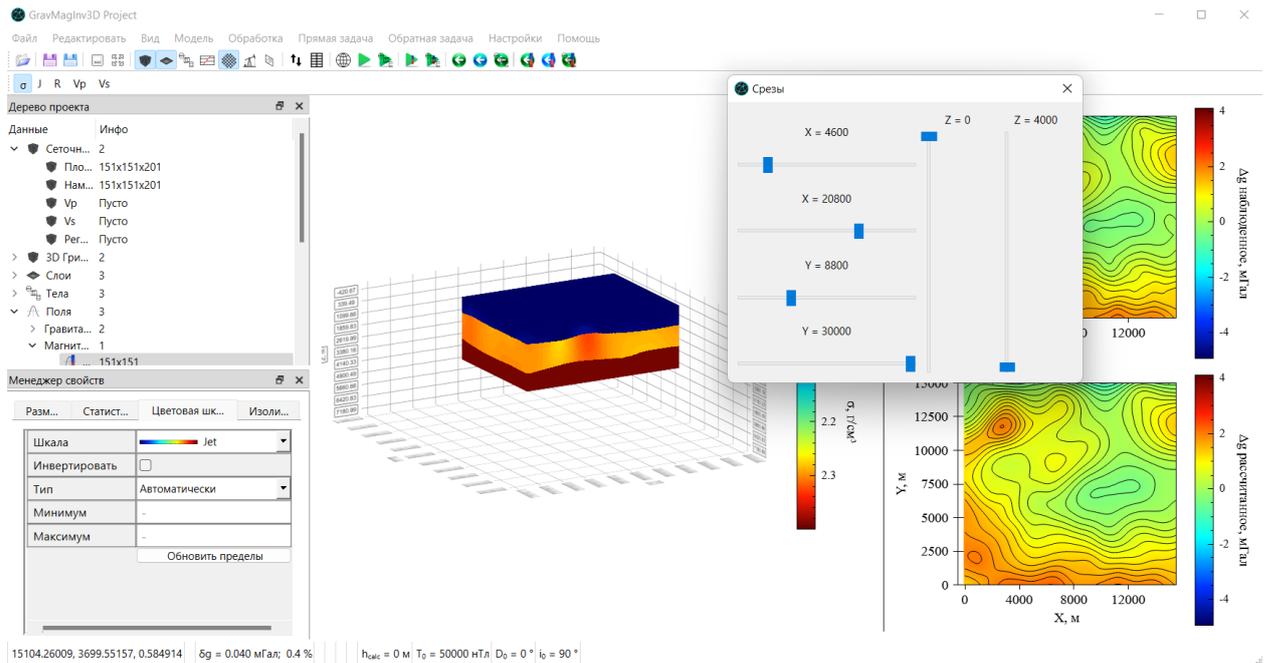
- Инвертирование цветовой шкалы: если данная опция активна, то цвет минимума и максимума меняются местами для выбранной шкалы.

- Выбор подхода к заданию пределов шкалы («Тип»): если выбрано «Автоматически», то при визуализации модели программа автоматически определяет минимальное и максимальное значение и задает их в качестве границ цветовой шкалы. Если выбрано «Вручную», то пользователь может сам задать значения, которые соответствуют границам цветовой шкалы.



- Кнопка «Обновить пределы» предназначена для задания минимального и максимального значения цветовой шкалы по минимуму и максимуму визуализируемой модели.

Также для сеточных моделей можно менять положение граней с помощью опции «Вид – 3D Грид – Срезы». После нажатия соответствующей кнопки открывается окно с «бегунками», с помощью которых можно менять положение каждой грани.

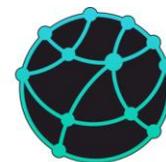


Обратите внимание, что при переключении между моделями, имеющими разные параметры разбиения, программа ориентируется на номера ячеек, а не на координаты, при выборе положения визуализируемых граней.

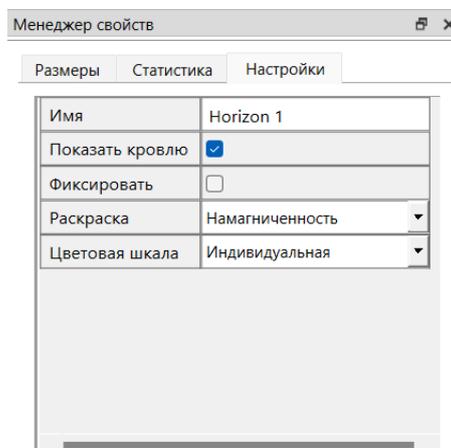
При визуализации «Регуляризатора» можно настраивать тип визуализируемых значений с помощью меню «Вид – Регуляризатор». По умолчанию визуализируются модули значений регуляризатора, поскольку именно они используются в качестве весов при решении обратной задачи, однако поскольку в программе также реализован учет знака регуляризатора при инверсии, то и визуализация исходного регуляризатора тоже возможна.

7.4 Горизонты

Визуализацию трехмерных поверхностей можно включать и выключать с помощью опции «Вид – Тип модели – Горизонты». Настройка горизонтов осуществляется через дерево проекта и менеджер свойств. После нажатия на соответствующий слой в дереве



проекта, в менеджере свойств появятся вкладки с информацией и настройками для данного слоя. Во вкладке «Настройки» находятся следующие настройки слоя:

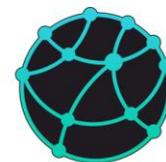


- Имя слоя
- Включение/Отключение визуализации кровли слоя на 3D сцене («Показать кровлю»)
- Фиксация распределения свойств в слое при инверсии («Фиксировать»)
- Выбор данных для раскраски («Раскраска») – каждую границу можно раскрасить по глубине, плотности или намагниченности (если соответствующие данные имеются в проекте)
- Уровень для раскраски («Цветовая шкала») – границы можно раскрашивать в индивидуальном уровне (т.е. минимум и максимум цветовой шкалы определяются индивидуально по каждому слою) или в общем уровне (т.е. минимум и максимум цветовой шкалы задаются общими для всех границ).

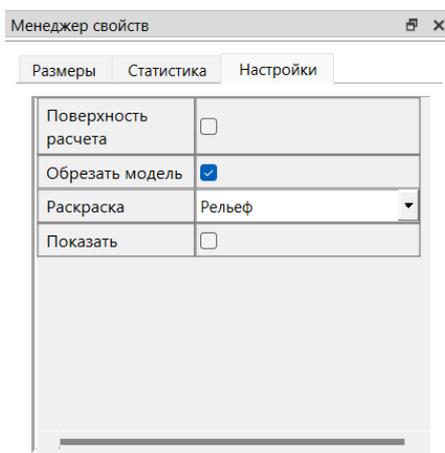
Также горизонты можно визуализировать в окнах, расположенных справа от окна для визуализации 3D модели в основном окне программы. Для визуализации горизонта в виде тепловой и/или контурной карты необходимо нажать ПКМ по соответствующему окну и в меню «Глубина кровли» выбрать соответствующий слой. Также для каждого слоя можно визуализировать карту его мощности с помощью нажатия ПКМ по соответствующему окну и выбора в меню «Мощность слоя» соответствующего слоя.

7.5 Рельеф

Настройка рельефа осуществляется через дерево проекта и менеджер свойств. После нажатия ЛКМ по вкладке «Рельеф» в дереве проекта, в менеджере свойств появятся вкладки



с информацией и настройками для данного слоя. Во вкладке «Настройки» находятся следующие настройки рельефа:



- Поверхность расчета – если активно, то прямая задача будет решаться на рельефе, а при решении обратной задачи будет предполагаться, что наблюдаемое поле задано на рельефе. Также данная настройка доступна во вкладке «Настройки» в дереве проекта. ***Данная настройка удалена из версии 2023.03.01 и более новых версий, т.к. были добавлены «Точки наблюдения».***

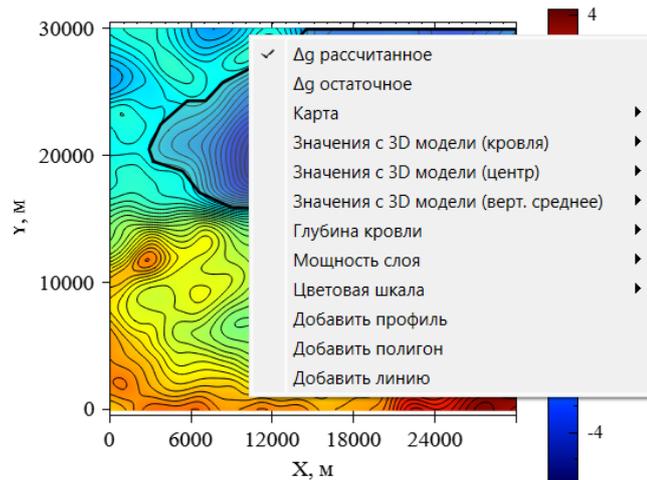
- Обрезка модели – если активно, то модель обрезается по рельефу при визуализации и при решении прямой и обратной задачи не учитываются ячейки, которые находятся выше рельефа. Если неактивно, то модель не обрезается и при решении прямой и обратной задачи ячейки выше рельефа будут участвовать в вычислениях.

- Выбор данных для раскраски («Раскраска») – в данной вкладке можно выбрать, по каким данным раскрашивать рельеф: по отметкам рельефа («Рельеф»), по наблюдаемому гравитационному полю или по наблюдаемому магнитному полю (компонента ΔT).

- Включение/выключение отображения рельефа на 3D сцене («Показать»).

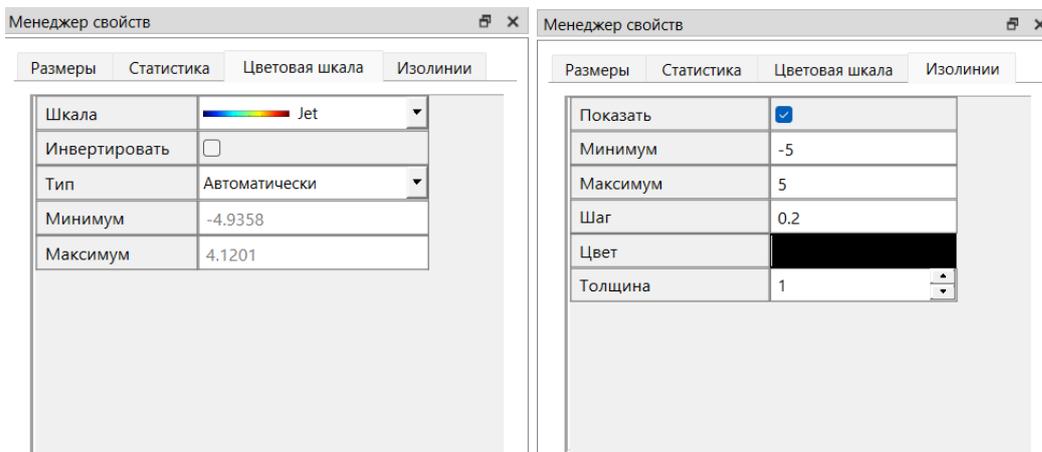
7.6 Поля

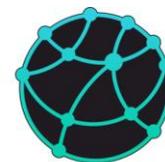
Наблюдаемые и рассчитанные поля в GravMagInv3D визуализируются в правой части основного окна программы - сверху визуализируется наблюдаемое поле, снизу – рассчитанное. Переключаться между различными полями на карте можно с помощью нажатия ПКМ по карте и выбора соответствующего поля из списка. Также помимо наблюдаемых полей, в обоих окнах можно визуализировать «Карты» (вкладка «Карты» в дереве проекта), а в нижнем окне также можно визуализировать карты срезов значений с видимой 3D модели вдоль границ и карты глубин кровли слоев и их мощности.



Также в меню, появляющемся по нажатию ПКМ по окну с картами, можно настроить цветовую шкалу наблюдаемого и рассчитанного поля.

Настройка внешнего вида карт наблюдаемых и рассчитанных полей осуществляется через дерево проекта и менеджер свойств. После нажатия ЛКМ по соответствующему полю во вкладке «Поля» в дереве проекта, в менеджере свойств появятся вкладки с информацией и настройками для данного поля. Во вкладке «Цветовая шкала» можно настроить параметры цветовой шкалы (аналогично 3D гридам), во вкладке «Изолинии» можно настроить параметры изолиний: включить/отключить их визуализацию, задать минимальную и максимальную изолинию и шаг между ними, а также цвет и толщину линии. Параметры цветовой шкалы и изолиний для соответствующих наблюдаемых и рассчитанных полей выставляются одинаковыми.





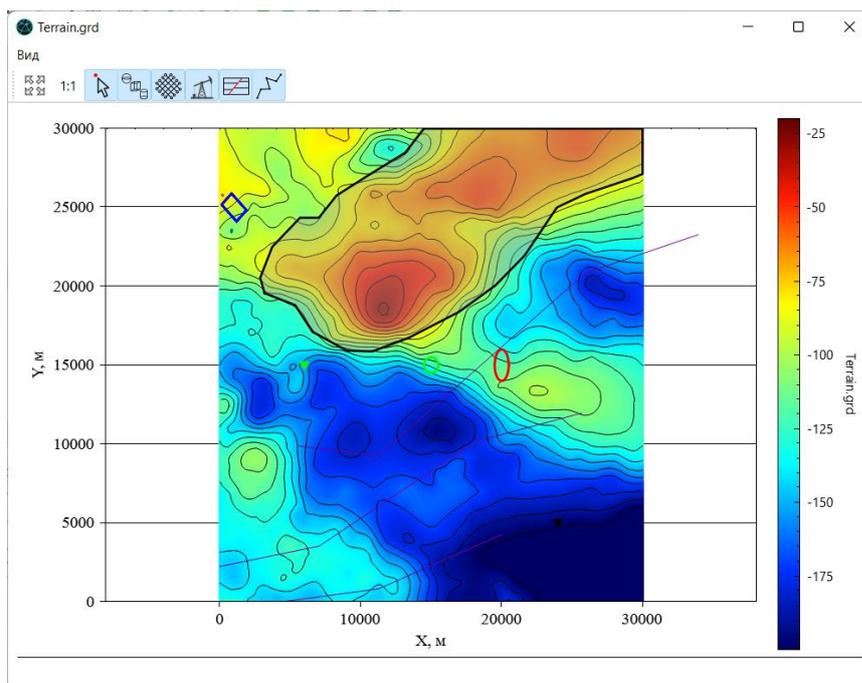
7.7 Точки наблюдения

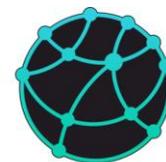
Настройка внешнего вида точек наблюдения (поверхности наблюдения) осуществляется через дерево проекта и менеджер свойств. После нажатия ЛКМ по соответствующему набору точек во вкладке «Точки наблюдения» в дереве проекта, в менеджере свойств появятся вкладки с информацией и настройками для данного набора данных. Как и для полей (см. пункт 7.6), для каждой поверхности наблюдения можно задать параметры цветовой шкалы и изолиний. Кроме того, во вкладке «Визуализация» можно включить и отключить визуализацию поверхности наблюдения в окне для 3D визуализации.

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. Как и для полей (см. пункт 7.6), 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 GravMagInv3D 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.

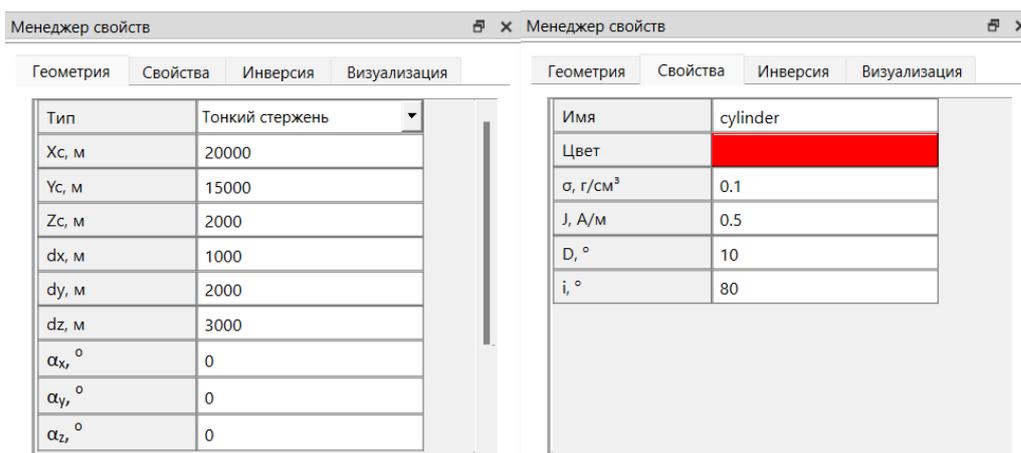
- 1:1 – при нажатии на данную кнопку соотношение масштабов осей X и Y станет равным единице.

- 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.

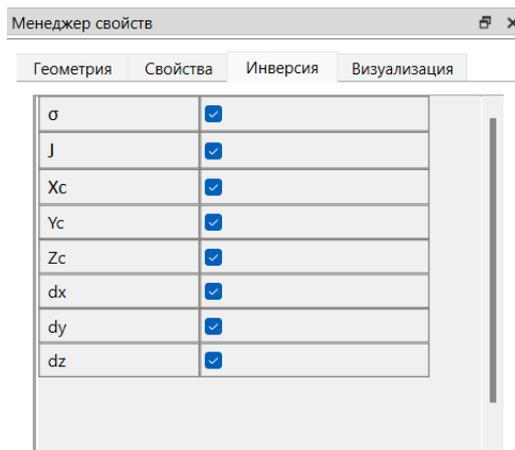
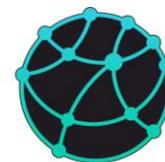
- Тела, Профили, Скважины, Разломы, Геометрические объекты – данные опции предназначены для включения и выключения визуализации соответствующих данных на карте.

7.9 Тела

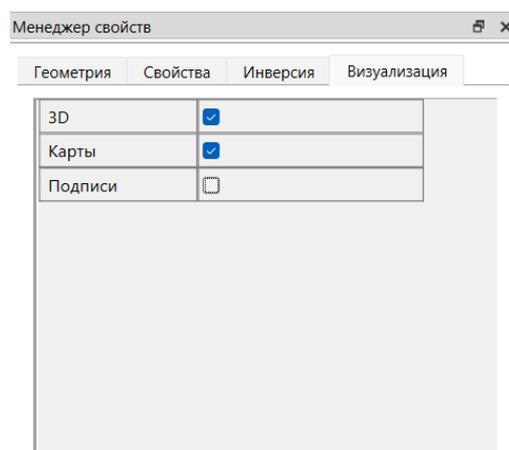
Настройка тел осуществляется через дерево проекта и менеджер свойств. После нажатия ЛКМ по соответствующему телу во вкладке «Тела» в дереве проекта, в менеджере свойств появятся вкладки с информацией и настройками для данного тела. Во вкладке «Геометрия» можно поменять геометрические параметры тела, во вкладке «Свойства» можно задать имя, цвет, а также физические свойства тела.



Вкладка «Инверсия» предназначена для включения/выключения подбора отдельных свойств тела при решении обратной задачи гравirazведки или магниторазведки для тел.



С помощью вкладки «Визуализация» можно включить/отключить визуализацию всех тел на 3D сцене и картах основного окна программы, а также включить/отключить отображение подписей к телам на картах основного окна программы.

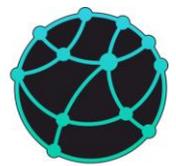


7.10 Разломы

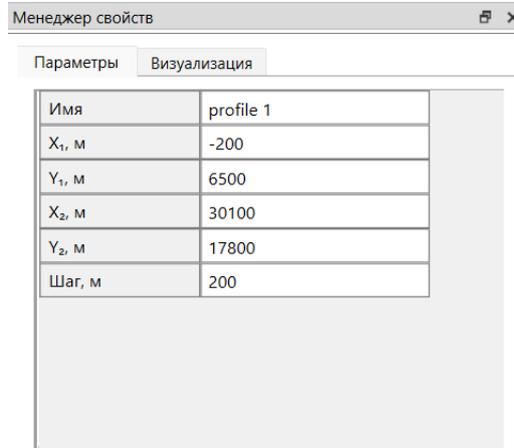
Отображение разломов на 3D сцене и картах основного окна программы можно включать и отключать с помощью дерева проекта и менеджера свойств. После нажатия ЛКМ по вкладке «Разломы» в дереве проекта или по любому из разломов в данной вкладке, в менеджере свойств появятся вкладки с информацией и параметрами визуализации разломов.

7.11 Профили

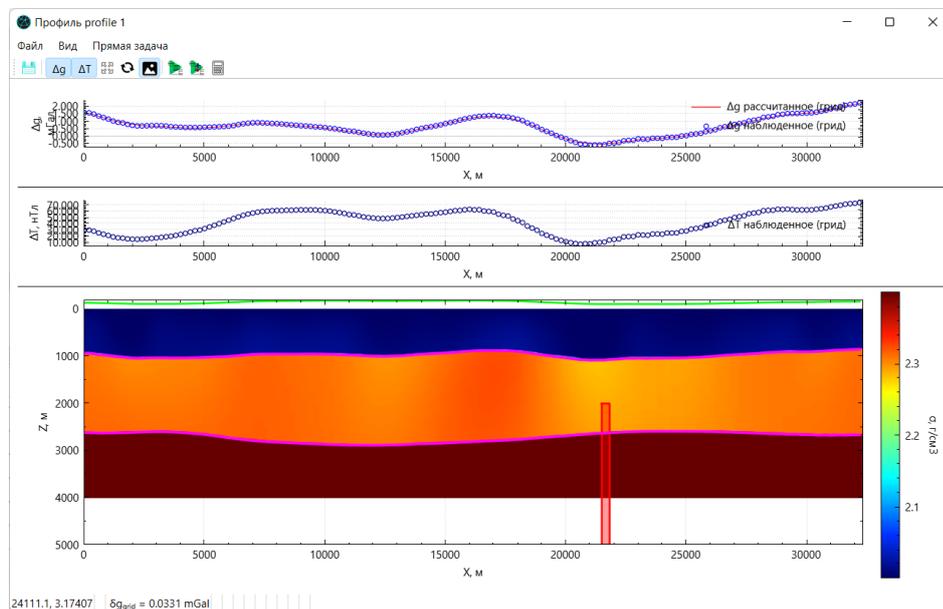
Отображение профилей на 3D сцене и картах основного окна программы можно включать и отключать с помощью дерева проекта и менеджера свойств. После нажатия ЛКМ по вкладке «Профили» в дереве проекта или по любому из профилей в данной вкладке, в менеджере свойств появится вкладка «Визуализация», в которой находятся кнопки для включения/выключения отображения профилей.



Также при нажатии на конкретный профиль в дереве проекта, в менеджере свойств появляется вкладка «Параметры», в которой можно задать имя профиля, координаты начала и конца, а также шаг среза данных с сеточных моделей и полей.

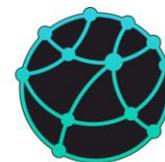


При двойном нажатии ЛКМ по профилю в дереве проекта, профиль открывается в новом окне, в котором визуализируются срезы с сеточных моделей (внизу) и полей (вверху), а также сечения тел и разломов, которые пересекает профиль.



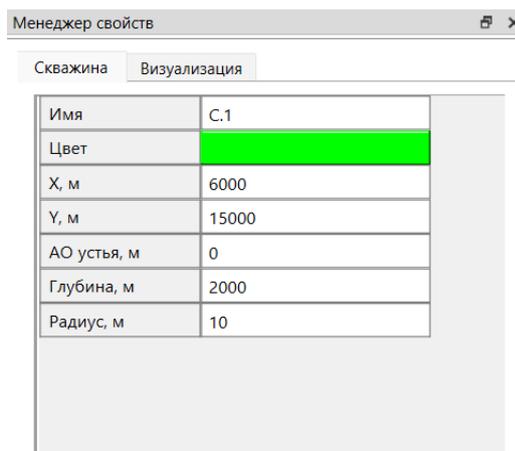
7.12 Скважины

Отображение скважин на 3D сцене и картах основного окна программы, а также подписей скважин на картах основного окна программы, можно включать и отключать с помощью дерева проекта и менеджера свойств. После нажатия ЛКМ по вкладке «Скважины» в дереве проекта или по любой из скважин в данной вкладке, в менеджере



свойств появится вкладка «Визуализация», с помощью которой можно настроить отображение скважин.

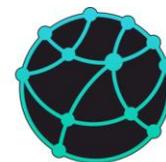
Также при нажатии на конкретную скважину в дереве проекта, в менеджере свойств появляется вкладка «Скважина», в которой можно задать имя скважины, цвет, координаты центра, абсолютную отметку устья (т.е. высоту над уровнем моря), глубину и радиус скважины.



7.13 Геометрические объекты

Отображение геометрических объектов на картах основного окна программы, можно включать и отключать с помощью дерева проекта и менеджера свойств. После нажатия ЛКМ по вкладке «Геометрические объекты» в дереве проекта или по любому из объектов в данной вкладке, в менеджере свойств появится вкладка «Визуализация», с помощью которой можно включить или выключить их визуализацию.

Также при нажатии на конкретный геометрический объект в дереве проекта, в менеджере свойств появляется вкладка «Свойства», в которой можно задать имя объекта, цвет линии и заливки, прозрачность заливки и толщину линии, а также включить/выключить его отображение на картах



8 Обработка площадных наблюдений

8.1 Ввод поправок в аномалии гравитационного поля

8.1.1 Общая информация

В GravMagInv3D реализованы возможности для расчета поправок для гравитационного поля, если в программу загружена информация о положении точек наблюдения и/или рельефе. Расчет поправок осуществляется с помощью опции «Обработка – Ввод поправок». В программе доступен расчет трех видов поправок: за высоту, плоскопараллельный слой и топографию. При расчете поправок также возможен учет водного слоя. При нажатии на соответствующую кнопку открывается окно с выбором параметров расчета поправок.

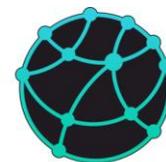
Поверхности	
Поверхность наблюдений	Константа
Высота наблюдений, м	0
Поверхность рельефа	Рельеф

Поправки	
За высоту	<input checked="" type="checkbox"/>
За плоскопараллельный слой	<input checked="" type="checkbox"/>
За топографию	<input type="checkbox"/>
Плотность, г/см ³	2.3
Аппроксимация	Прямоугольные призмы
Учет воды	<input checked="" type="checkbox"/>
Плотность воды, г/см ³	1.03
Сохранить поправки	<input checked="" type="checkbox"/>

Вычислить

Перед расчетом поправок необходимо выбрать поверхность наблюдений: постоянная высота (константа), точки наблюдения гравитационного поля, или одна из загруженных карт. Если планируется вычисление поправок за плоскопараллельный слой или рельеф, то также необходимо выбрать поверхность рельефа: рельеф (данные, загруженные в качестве рельефа в проект) или одна из карт.

Обратите внимание, что если для поверхности наблюдений и/или рельефа используется одна из загруженных карт, то необходимо проверить, чтобы отметкам выше нуля соответствовали отрицательные значения, т.к. **вертикальная ось в программе направлена вниз**. Если же в качестве высоты наблюдений используется константа, то отметкам выше нуля соответствуют положительные значения.



После расчета поправок в «Карты» добавляются рассчитанные поправки, а также гравитационное поле с введенными поправками.

8.1.2 *Поправки за высоту и плоскопараллельный слой*

Если поверхность наблюдений не является горизонтальной и в окне настройки параметров расчета поправок включен расчет поправки за высоту, то расчет данной поправки выполняется по следующей формуле:

$$\delta g = 0.3086h,$$

где h – высота над нулевой отметкой.

Если поверхность рельефа не является горизонтальной и расчет поправки за плоскопараллельный слой включен, то данная поправка вычисляется по формуле:

$$\delta g = -0.0419\sigma h_p,$$

где σ – плотность рельефообразующих пород (вводится в окне параметров расчета поправок), h_p – абсолютная отметка рельефа (программа автоматически переводит глубины в абсолютные отметки).

Если включен «Учет воды», то водный слой дополняется до плотности рельефообразующих пород и в точках, в которых отметки рельефа положительны (то есть расположены ниже нуля, т.к. вертикальная ось направлена вниз), поправка за плоскопараллельный слой вычисляется по следующей формуле:

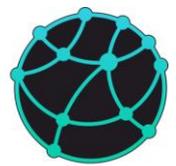
$$\delta g = 0.0419(\sigma - \sigma_v)h_v,$$

где σ_v – плотность воды, h_v – толщина водного слоя.

8.1.3 *Топографическая поправка*

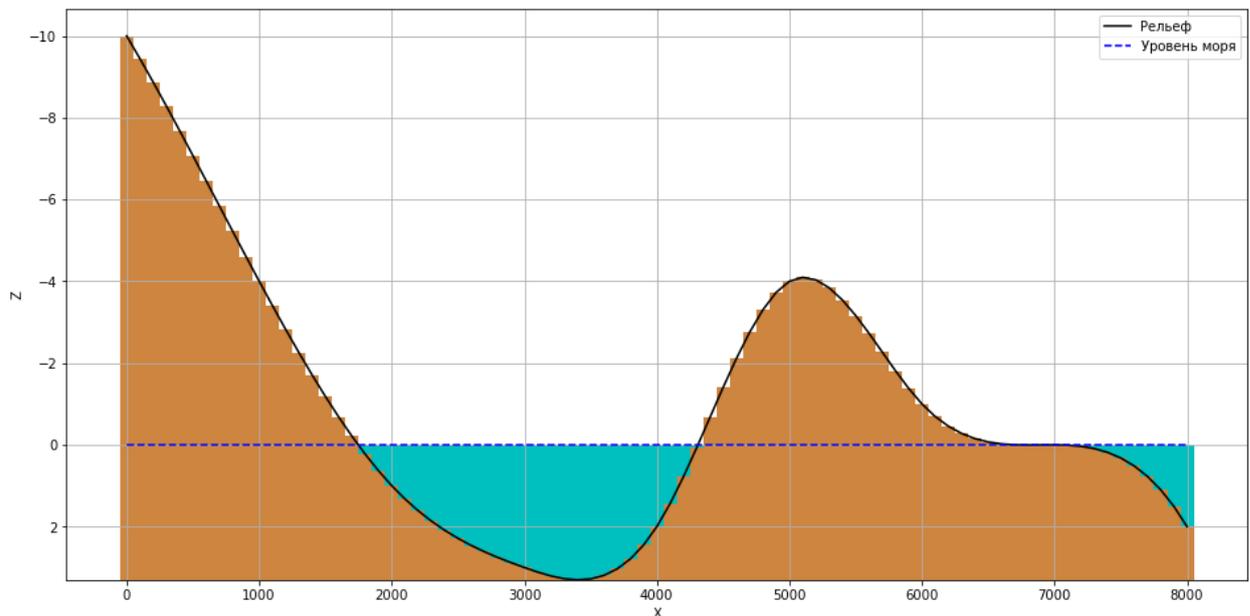
Для расчета топографической поправки используется аппроксимация рельефа прямоугольными призмами. Если в окне настройки параметров расчета поправок включен расчет топографической поправки, то расчет поправки за плоскопараллельный слой не выполняется.

При вычислении топографической поправки могут использоваться параллельные вычисления, в том числе вычисления на видеокarte. При расчетах используется вычислительное устройство и количество потоков, указанные через пункт «Настройки» в дереве проекта.



Вычисление топографической поправки происходит следующим образом: программа определяет самую нижнюю отметку рельефа (т.е. максимальную глубину рельефа) и разбивает рельеф на сеть прямоугольных призм, верхняя граница которых находится на соответствующих отметках рельефа, а нижняя – на постоянной глубине, равной минимальной отметке рельефа. Далее происходит вычисление гравитационного эффекта рельефообразующих масс во всех расчетных точках.

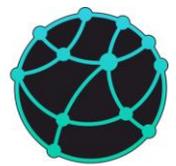
Если включен учет водного слоя, то водный слой (область с положительными глубинами рельефа) также разбивается на множество прямоугольных призм, верхняя кромка которых располагается на нулевой отметке, а нижняя совпадает с отметками рельефа. Далее вычисляется гравитационный эффект водного слоя во всех расчетных точках, после чего он складывается с эффектом рельефообразующих масс.



После расчета гравитационного эффекта рельефа и водного слоя, их гравитационный эффект вычитается из аномалий гравитационного поля.

8.2 Трансформации

В GravMagInv3D реализованы возможности для расчета следующих трансформаций наблюдаемого гравитационного и магнитного поля: пересчет вверх и вниз, горизонтальные и вертикальная производная, модуль горизонтального и полного градиента. Расчет трансформаций выполняется с помощью опции «Обработка – Трансформации» по полям, загруженным в проект в качестве наблюдаемого гравитационного и/или магнитного поля



(вкладка «Поля» в дереве проекта). После нажатия соответствующей кнопки открывается окно с параметрами трансформаций.

Трансформация	Пересчет вверх
Начальная поверхность	Плоскость
Высота поверхности, м	0
Конечная поверхность	Плоскость
Высота поверхности, м	1000

Поле	Сохранить файл
<input checked="" type="checkbox"/> dg	...
<input checked="" type="checkbox"/> dT	...
<input type="checkbox"/> dX	...
<input type="checkbox"/> dY	...
<input type="checkbox"/> dZ	...

Ok Отмена

В данном окне можно выбрать тип трансформации, параметры трансформации, поля, по которым вычисляются трансформации, а также путь к файлу, если необходимо сохранить результат вычислений на диск. Также результаты вычислений трансформаций автоматически добавляются в «Карты».

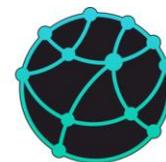
В зависимости от типа трансформации, вычисления происходят либо в частотной, либо в действительной области. При вычислениях в частотной области пересчитываемое поле расширяется и количество ячеек по каждой оси увеличивается до ближайшей степени двойки.

8.2.1 Пересчет вверх и вниз

Пересчет в верхнее и нижнее полупространство возможен в трех вариантах:

- Пересчет с плоскости на плоскость. В таком случае необходимо задать начальную и конечную высоту. При пересчете учитывается разница между начальной и конечной высотой. Положению выше нулевой отметки соответствуют положительные высоты (несмотря на то, что вертикальная ось в программе направлена вниз). Данный пересчет выполняется в частотной области.

- Пересчет с плоскости на произвольную поверхность (точки наблюдения). В таком случае необходимо задать начальную высоту (положению выше нулевой отметки соответствуют положительные высоты, несмотря на то что вертикальная ось в программе направлена вниз), а также загрузить в проект точки наблюдения. Пересчет происходит с



помощью численного интегрирования и выполняется дольше, чем пересчет вверх с горизонтальной поверхности на горизонтальную.

- Пересчет с произвольной поверхности (точек наблюдения) на плоскость. В таком случае необходимо задать конечную высоту (положению выше нулевой отметки соответствуют положительные высоты, несмотря на то что вертикальная ось в программе направлена вниз), а также загрузить в проект точки наблюдения. Пересчет происходит с помощью истокообразной аппроксимации (подбирается распределение точечных источников, поле которых минимально отклоняется от наблюдаемого поля, после чего для данного распределения решается прямая задача на заданной высоте). Для регуляризации расчетов можно задать «Минимальную глубину источников», если данный параметр не выбран, то источники располагаются на глубине, равной шагу между точками в наблюдаемом поле, относительно начальной или конечной поверхности (в зависимости от того, какая поверхность ниже).

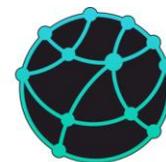
Пересчет вверх и вниз с горизонтальной поверхности на горизонтальную и п выполняется на одном потоке центрального процессора, пересчет с произвольной поверхности на горизонтальную поверхность выполняется на том вычислительном устройстве и количестве потоков, которые выбраны в настройках (вкладка «Настройки» в дереве проекта).

8.2.2 Производные

В GravMagInv3D можно вычислить следующие производные наблюдаемых полей: горизонтальные производные (вдоль осей X и Y), вертикальную производную, модуль горизонтального градиента (корень из суммы квадратов производных вдоль осей X и Y), модуль полного градиента (корень из суммы квадратов производных вдоль осей X , Y и Z).

Перед вычислением производной необходимо задать порядок производной. Если вычисляется первая производная гравитационного поля, то результат вычислений сохраняется в Этвешах. Единицы измерения остальных производных определяются через деление единицы исходного поля (мГал или нТл) на метры в степени, равной порядку производной.

Вычисление всех производных происходит в частотной области на одном потоке центрального процессора.

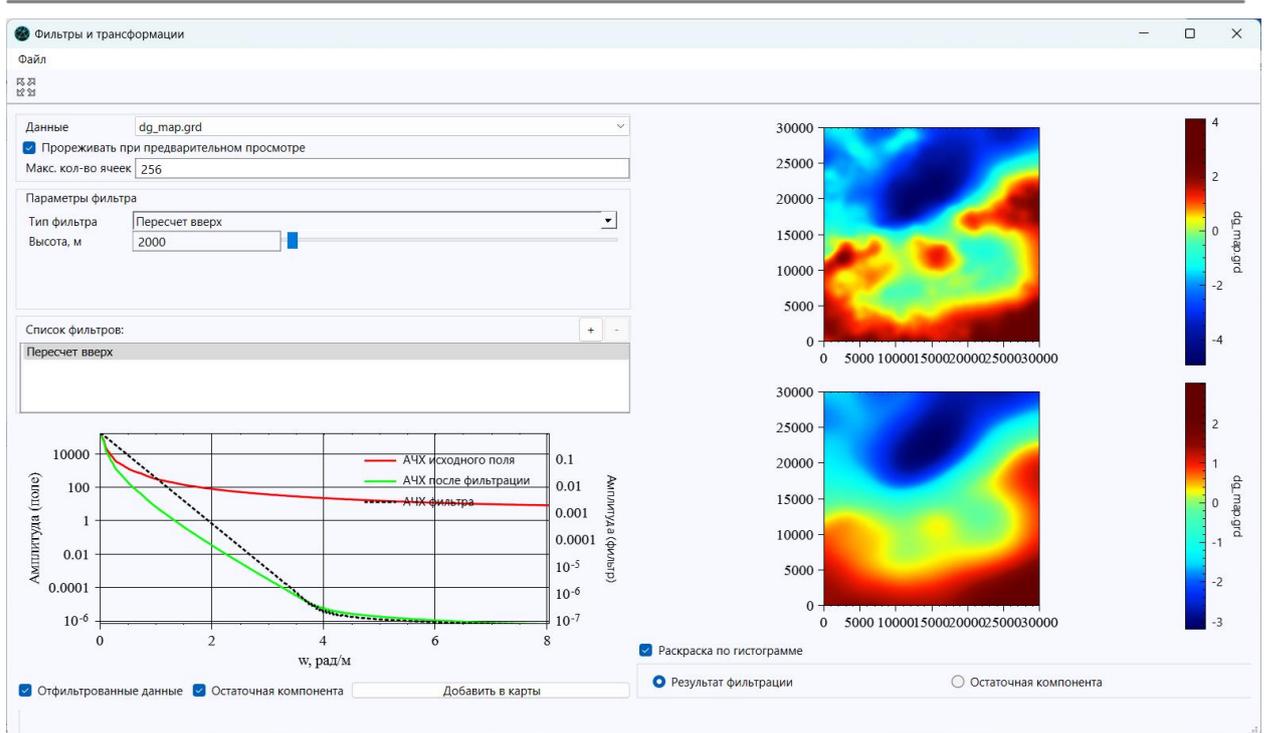
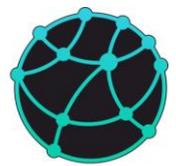


8.3.2D Фильтры

8.3.1 Общая информация

В расширенную версию GravMagInv3D встроен модуль для фильтрации карт (вкладка «Карты» в дереве проекта). Данный модуль открывается с помощью пункта меню «Обработка – Фильтры». После нажатия на соответствующий пункт меню, открывается окно, которое имеет следующие элементы:

- Список карт («Данные»);
- Тип фильтра;
- Параметры фильтра, которые могут меняться в зависимости от типа фильтра;
- Окно, в котором визуализируется исходная карта;
- Окно, в котором визуализируется предварительная отфильтрованная карта или разность между начальной и отфильтрованной картой (остаточная компонента);
- Кнопка для сохранения результатов фильтрации и/или остаточной компоненты («Добавить в карты»).
- Список фильтров, а также кнопки для добавления и удаления фильтра из списка.
- Поле для ввода количества ячеек, до которого прореживается карта при предварительном просмотре, а также кнопка включения/выключения опции прореживания

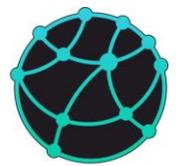


После нажатия «Добавить в карты» происходит фильтрация по исходной карте (т.е. без прореживания), расширенной минимум в 2 раза по каждой оси и до ближайшей степени двойки по количеству ячеек.

8.3.2 Типы фильтров

Принципиально фильтры, доступные в модуле фильтраций, можно разделить на 4 группы:

<i>Группа фильтров</i>	<i>Список фильтров</i>
Фильтры низких частот	Пересчет в верхнее полупространство (пересчет вверх) Фильтр низких частот Фильтр Баттерворта (ФНЧ) Скользящее среднее Фильтр Гаусса
Фильтры высоких частот	Пересчет в нижнее полупространство (пересчет вниз) Фильтр высоких частот

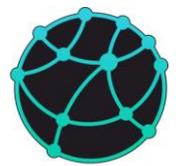


	Фильтр Баттерворта (ФВЧ)
Полосовые фильтры	Полосовой фильтр Фильтр Баттерворта (полосовой)
Производные	Горизонтальная производная по оси X Горизонтальная производная по оси Y Вертикальная производная Модуль горизонтального градиента Модуль полного градиента (аналитический сигнал) Производная по направлению Наклон производной Трансформация Саксова-Нигарда (также в некоторых случаях можно воспринимать данную трансформацию как частотный фильтр)

Для фильтров высоких и низких частот необходимо задать пространственный период среза, либо ширину окна (скользящее среднее и фильтр Гаусса), либо высоту пересчета (для пересчета вверх или вниз). Также для фильтра Баттерворта требуется задать порядок фильтра.

Полосовые фильтры вычисляются как произведение соответствующих фильтров низких и высоких частот и требуют задания двух пространственных периодов среза.

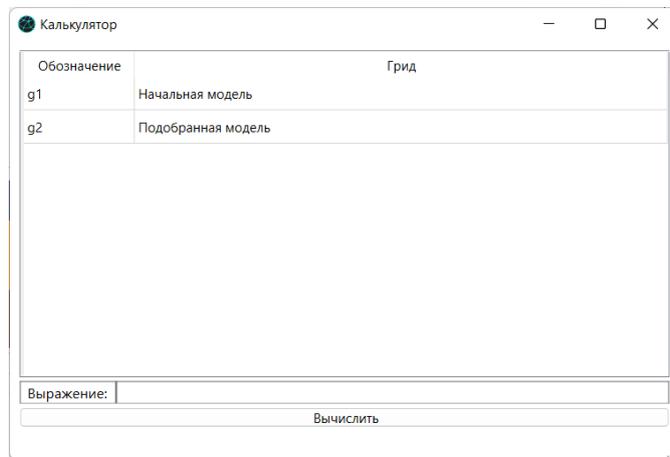
Вычисление пересчета поля в верхнее и нижнее полупространство происходит аналогично пересчету с горизонтальной поверхности на горизонтальную в меню «Обработка – Трансформации» (см. пункт [8.2](#)). Вычисление производных также происходит аналогично расчету в меню «Обработка – Трансформации» (однако, если вы рассчитываете первую производную данных, в которых содержатся аномалии гравитационного поля, результат вычислений не переводится в Этвеша, поскольку «Карты» не имеют привязки к полям).



8.4 Калькулятор карт

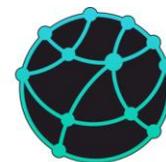
С загруженными в программу картами (т.е. объектами, список которых находится в дереве проекта во вкладке «Карты») можно выполнять поэлементные вычисления по произвольным формулам с помощью встроенного калькулятора. Используемые в вычислениях карты обязательно должны иметь одинаковые параметры разбиения.

Чтобы открыть калькулятор, необходимо нажать ПКМ на вкладке «Карты» в дереве проекта и выбрать пункт «Калькулятор». Далее, появится окно, со списком карт 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](#) и аналогичен синтаксису калькулятора 3D Гридов (см. пункт [6.5.1](#)) **Формулы чувствительны к регистру.**

В выражениях может участвовать произвольное количество карт и чисел. Результат вычисления выражения добавляется в проект в виде новой карты.



9 Локализация особых точек

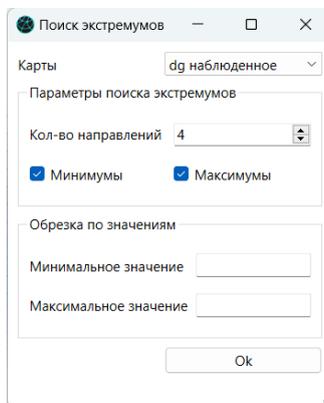
В данной главе рассматриваются возможности GravMagInv3D для локализации особых точек потенциальных полей. К таким подходам помимо упомянутых в данной главе также можно отнести инверсию без учета априорных данных, которая рассмотрена в разделе [10.4](#), в комбинации с опцией поиска экстремумов по трехмерным сеточным моделям, описанной в разделе [9.1.2](#). Основные опции для локализации особых точек по данным, загруженным в проект GravMagInv3D, находятся в меню «Особые точки».

9.1 Поиск экстремумов

9.1.1 Экстремумы карт

В GravMagInv3D реализована опция поиска локальных экстремумов (минимумов и максимумов) по картам (т.е. объектам, которые находятся в списке «Карты» в дереве проекта). Данная опция вызывается с помощью пункта меню «Особые точки – Поиск экстремумов – Карта».

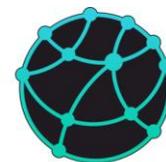
После нажатия на соответствующий пункт меню появится диалоговое окно с параметрами поиска экстремумов.



Параметры включают в себя:

- Выбор карты, по которой будет происходить поиск экстремумов;
- 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 карте, для которых происходит поиск экстремумов. Если соответствующее поле оставить пустым, то ограничение не будет применяться.

После нажатия на кнопку «Ок» будет произведен поиск экстремумов по выбранной карте и все найденные экстремумы будут добавлены в группу точек в списке «Точки» в дереве проекта. Все добавленные точки будут двумерными и будут визуализироваться только на картах в основном окне программы.

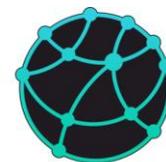
Для больших карт не рекомендуется использовать малое количество направлений при поиске экстремумов, т.к. в таком случае количество локальных экстремумов может быть очень большим, что в свою очередь может привести к зависанию программы при перерисовке карт.

9.1.2 Экстремумы 3D моделей

Аналогично поиску экстремумов по картам, в GravMagInv3D реализована опция поиска экстремумов по 3D градам. В отличие от поиска экстремумов по картам, данная опция использует активную сеточную модель, то есть ту, которая в данный момент визуализируется на 3D сцене. Поиск экстремумов по активной сеточной модели запускается с помощью опции «Особые точки – Поиск экстремумов – 3D Грид».

После нажатия на соответствующий пункт меню появится диалоговое окно с параметрами поиска экстремумов. Параметры поиска экстремумов по 3D градам аналогичны параметрам поиска экстремумов по картам, отличаются только количества возможных направлений для определения экстремума. Поскольку каждую точку (за исключением точек, находящихся на краях модели) окружают 26 точек, то в данном случае максимальное количество направлений равно 13.

После нажатия на кнопку «Ок» будет произведен поиск экстремумов по выбранной карте и все найденные экстремумы будут добавлены в группу точек в списке «Точки» в дереве проекта. Все добавленные точки будут трехмерными и будут визуализироваться как на картах в основном окне программы, так и на 3D сцене.

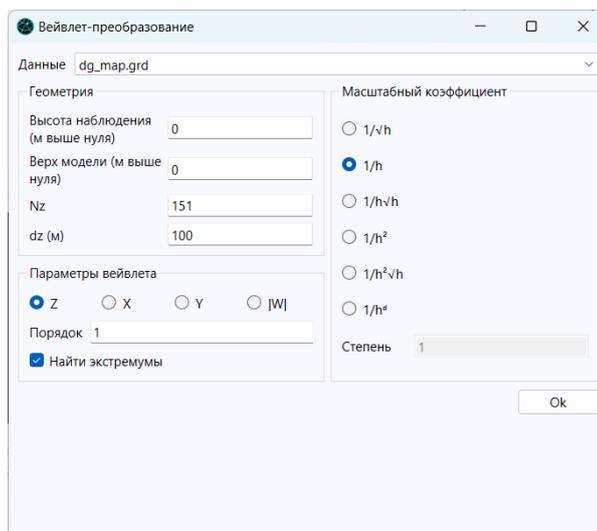


Для больших моделей не рекомендуется использовать малое количество направлений при поиске экстремумов, т.к. в таком случае количество локальных экстремумов может быть очень большим, что в свою очередь может привести к зависанию программы при перерисовке модели и карт.

9.2 Вейвлет-анализ

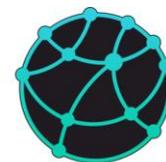
В GravMagInv3D реализована опция расчета вейвлет-спектров потенциальных полей с помощью вейвлетов, построенных на основе ядра Пуассона, по экстремумам которых могут оцениваться особые точки.

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



Параметры включают в себя:

- Карта, по которой происходит расчет вейвлет-спектра;
- 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 трехмерный 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 [6.4.5](#);

- Тип вейвлета: X, Y, Z – производные ядра Пуассона по соответствующей оси, $|W|$ - корень из суммы квадратов вейвлет-спектров по всем трем осям;

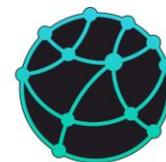
- Порядок вейвлета – порядок производной силы притяжения, которая используется в качестве ядра преобразования;

- 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 [9.1.2](#), количество направлений будет равно 13)

После нажатия кнопки «Ok» будет запущен процесс расчета вейвлет спектра, который после завершения расчетов будет добавлен в список 3D гридов.

В GravMagInv3D 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 карт нужно выбрать 3D грид, в котором содержится вейвлет-спектр. После нажатия кнопки «Ok» 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 Nz), низкочастотная компонента исходное поле может восстанавливаться не полностью.

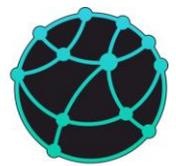


9.3 Деконволюция Эйлера

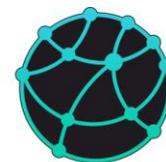
В GravMagInv3D реализована опция для локализации особых точек с помощью деконволюции Эйлера. Для запуска деконволюции Эйлера необходимо использовать пункт меню «Особые точки – Деконволюция Эйлера».

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

- Карта, по которой происходит локализация особых точек;
- 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 «Карты» в дереве проекта. *Если выбрана любая из карт, то значения высот в ней должны быть заданы в соответствии с вертикальной шкалой, направленной вниз (т.е. отметкам выше нуля должны соответствовать **отрицательные** значения).*
- Флаг автоматического расчета производных;
- Карты 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 по каждому направлению 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 выбранной карты.
- Количество направлений, по которым происходит поиск экстремумов по карте, (см. раздел [9.1.1](#)) если флаг использования экстремумов включен.



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 картах и 3D сцене.



10 Прямая и обратная задача гравиразведки и магниторазведки

10.1 *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.

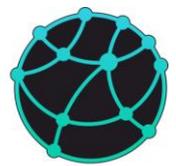
Если количество доступной оперативной памяти меньше, чем требуемое количество, для решения обратной задачи рекомендуется использовать прореженную плотностную и/или магнитную модель. В противном случае длительность решения обратной задачи значительно увеличится, поскольку считывание данных с жесткого диска или твердотельного накопителя работает медленнее, чем считывание данных с оперативной памяти.

Решение прямой задачи возможно даже в случае недостатка памяти для инверсии, однако в этом случае **рекомендуется отключать хранение эффектов в памяти**, поскольку процесс решения прямой задачи может значительно замедлиться.

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

10.2 *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 – Нормальное магнитное поле». После нажатия соответствующей кнопки, открывается окно, в котором необходимо указать модуль индукции нормального магнитного поля в нТл, а также склонение и наклонение в градусах.



Нормальное магнитное поле

Нормальное магнитное поле T, нТл
50000

Склонение нормального поля D, °
0

Наклонение нормального поля i, °
90

OK Отмена

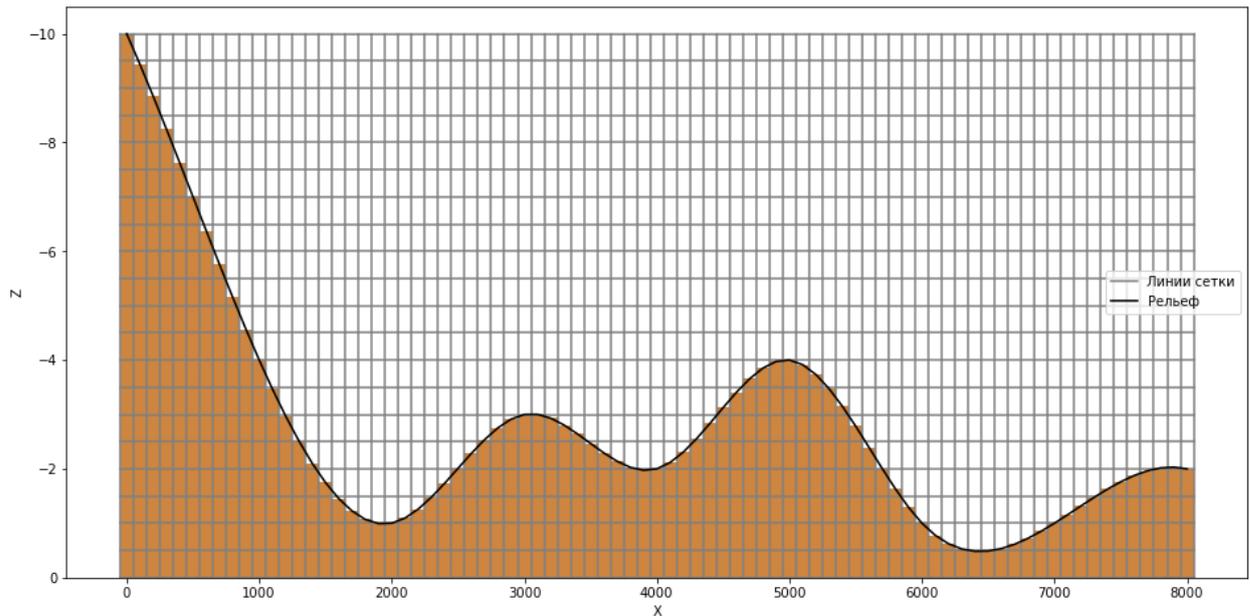
10.3 Прямая задача

10.3.1 Сеточные модели

Прямая задача для трехмерных плотностных и магнитных сеточных моделей решается в частотной области, если поле рассчитывается на горизонтальной поверхности (т.е. в качестве поверхности расчета выбрана «Константа»). Для ускорения процесса вычислений расширенная с учетом «коэффициента расширения» модель дополнительно расширяется до ближайшей степени числа 2 в большую сторону. Если в проект загружен рельеф и включена обрезка модели по рельефу, то из модели исключаются все ячейки, которые расположены выше рельефа. Ячейки, пересекающие рельеф, остаются в модели без изменения геометрии.

Временная сложность алгоритма решения трехмерной прямой задачи в частотной области – $O(N_x N_y N_z \log(N_x N_y))$.

В случае моделирования на произвольной поверхности прямая задача гравиразведки и магниторазведки решается в действительной области (т.е. рассчитывается гравитационный и магнитный эффект каждой ячейке в каждой точке и эффекты всех ячеек суммируются). Для учета краевых эффектов крайние ячейки модели продлеваются по горизонтали на 5 длин модели вдоль соответствующей оси в каждую сторону. Если в проект загружен рельеф, при решении прямой и обратной задачи 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 трехмерной прямой задачи в действительной области - $O(Nx^2Ny^2Nz)$.

Обратите внимание, что в сеточных моделях, обрезанных по рельефу, все равно имеются ячейки выше рельефа, т.е. ячейки обрезаются при визуализации, но не исчезают из модели. Чтобы при решении прямой задачи не учитывались ячейки выше рельефа, необходимо включить опцию «Обрезать модель» в настройках рельефа (вкладка «Рельеф» в дереве проекта, далее вкладка «Настройки» в менеджере свойств»).

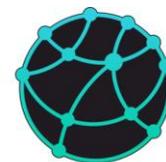
10.3.2 Блочные модели

При решении прямой задачи гравиразведки для блочной модели гравитационное поле модели в каждой точке вычисляется, как сумма гравитационных полей каждого тела в данной точке.

Аналогично при решении прямой задачи магниторазведки для компонент ΔX , ΔY и ΔZ магнитное поле модели в каждой точке является суммой магнитных полей всех тел в данной точке. При расчете компоненты ΔT сначала вычисляются компоненты ΔX , ΔY и ΔZ , после чего компонента ΔT вычисляется по следующей формуле:

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

где X , Y , Z , T – соответствующие компоненты вектора индукции нормального магнитного поля, ΔX , ΔY и ΔZ – компоненты аномальной составляющей вектора индукции магнитного поля.



Гравитационное и магнитное поле для каждого типа тел (сфера, тонкий стержень и прямоугольный параллелепипед) вычисляется по аналитическим выражениям для соответствующих тел. Обратите внимание, что для стержня используются именно выражения для модели «Тонкого стержня», т.е. стержня с пренебрежимо малой площадью поперечного сечения. Даже если пользователь задаст широкое сечение стержня, программа также будет выполнять вычисления по модели «тонкого стержня» и площадь сечения будет использоваться только для определения линейной плотности и намагниченности, а результат вычисления не будет соответствовать модели цилиндра или стержня с большим сечением.

10.3.3 Увязка полей

В GravMagInv3D имеется 3 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);
- отключение увязки (в таком случае уровень рассчитанного поля не изменяется)

Выбранный тип увязки также учитывается при решении обратной задачи гравиразведки.

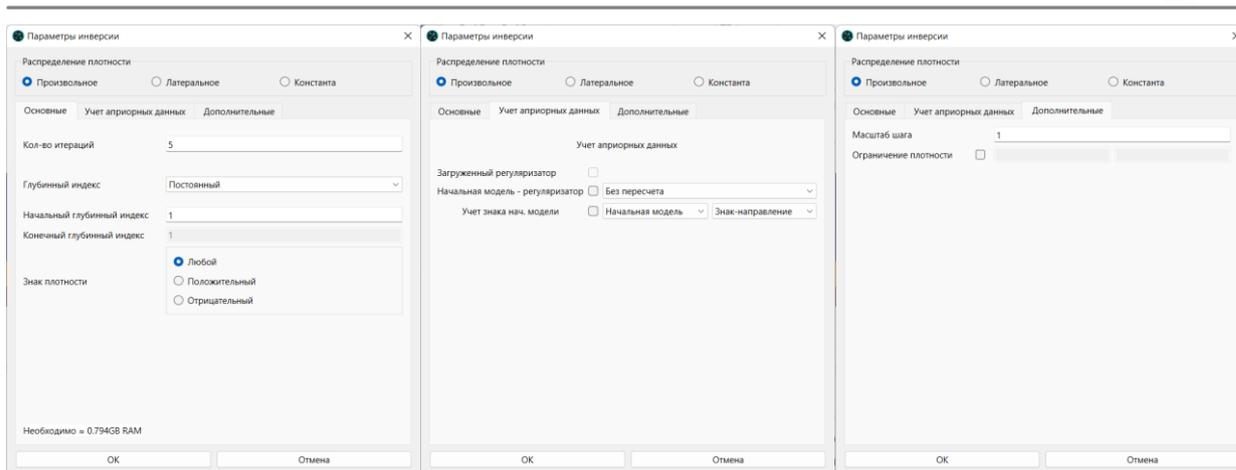
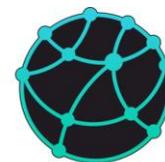
10.4 Обратная задача

10.4.1 Сеточные модели

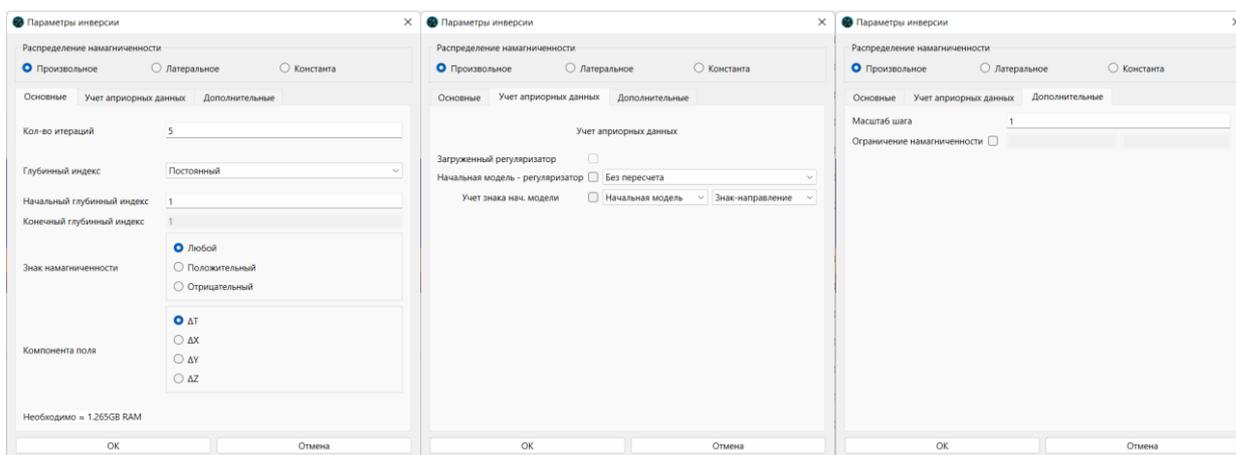
Запуск решения обратной задачи гравиразведки для трехмерных сеточных моделей осуществляется с помощью опции «Обратная задача – Гравиразведка – Grid». Обратная задача магниторазведки для сеточных моделей запускается с помощью опции «Обратная задача – Магниторазведка – Grid».

Параметры инверсии

После нажатия соответствующей кнопки появляется окно с выбором параметров решения обратной задачи (инверсии), которое имеет переключатель типа инверсии и три вкладки с параметрами: «Основные», «Учет априорных данных» и «Дополнительные».

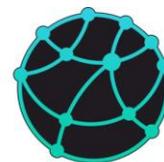


Параметры решения обратной задачи гравirazведки и магниторазведки практически не отличаются, единственное отличие заключается в выборе компоненты магнитного поля, по которой выполняется подбор, в случае решения обратной задачи магниторазведки:



В GravMagInv3D реализовано три подхода к решению обратной задачи гравirazведки и магниторазведки для 3D сеточных моделей:

- Сеточная инверсия, по результатам которой может подбираться произвольное распределение плотности или модуля намагниченности, то есть свойства могут изменяться во всех направлениях;
- Латеральная инверсия, по результатам которой подбирается латеральное распределение плотности или модуля намагниченности в слоях. По вертикали в таком случае свойства не изменяется. Обратите внимание, что при таком типе инверсии распределение плотности в нефиксированных слоях **заменяется** на латеральное;
- Послойная инверсия («слои»), по результатам которой подбирается константное распределение плотности или модуля намагниченности в слоях. Данный тип



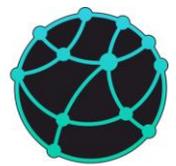
инверсии работает по остаточному полю и константное значение добавляется к текущей модели.

Основные параметры включают в себя:

- Количество итераций;
- Глубинный индекс (актуально только для подбора «произвольного» распределения свойств) – параметр, регулирующий выравнивание чувствительности оператора обратной задачи к ячейкам с глубиной. Поскольку, большинство операторы обратной задачи гравirazведки и магниторазведки наиболее чувствительны к приповерхностным ячейкам, в программе реализована возможность учета снижения чувствительности с глубиной с помощью степенной функции (глубинный индекс – показатель степени). Чем больше значение данного параметра, тем глубже будут подбираться источники аномалий;
- Знак плотности/намагниченности – любой, положительный или отрицательный. Данный параметр особенно актуален, если пользователь работает с избыточными плотностями или намагниченностями, либо решает обратную задачу с увязкой по среднему, но не хочет получать отрицательных значений.
- Компонента поля (актуально только для магниторазведки) – выбор компоненты магнитного поля, по которой осуществляется подбор (ΔT , ΔX , ΔY или ΔZ).

Параметры регуляризации включают в себя:

- Использование загруженного регуляризатора – если опция включена, то сеточная модель, загруженная как «Регуляризатор», будет учитываться при инверсии;
- Использование начальной модели в качестве регуляризатора и выбор уровня, относительно которого рассчитывается регуляризатор. Если выбран вариант «Вычесть средние» или «Вычесть минимумы», изменение модели будет происходить в областях, где имеются избыточные плотности/намагниченности, расчет которых будет производиться на каждой глубине относительно среднего или минимального уровня соответственно. Если выбран вариант «Без пересчета», то наибольшие изменения модели будут происходить в областях с максимальными по модулю значениями начальной плотностной или магнитной модели.
- Учет знака начальной модели – данная опция может работать в двух вариантах: «Сохранять модули» и «Не менять знак». В первом случае при решении обратной задачи для грида, свойства в каждой ячейки будет возрастать по модулю. Во втором



случае свойства в каждой ячейке не будет менять знак, то есть если, например, в начале инверсии в ячейке была отрицательная плотность/намагниченности, то она не станет положительной. Учитывать знак можно либо по начальной модели, либо по регуляризатору.

Подробнее про регуляризацию и учет априорных данных можно прочитать в разделе [10.5](#).

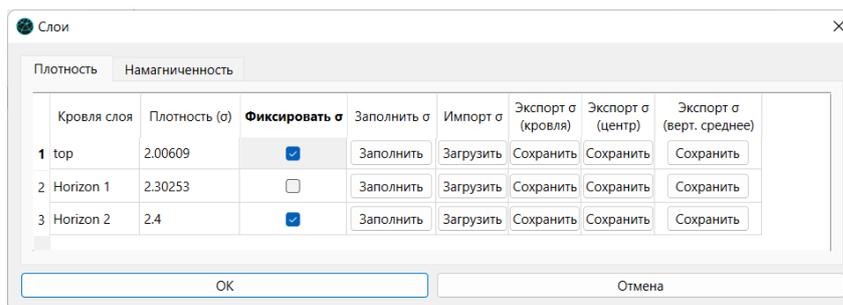
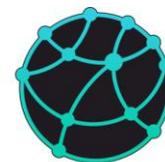
Дополнительные параметры включают в себя:

- 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» минимума функционала невязки и расхождению результата инверсии;
- Ограничение плотности/намагниченности – если данная опция включена, то в левом поле необходимо ввести минимальное значение плотности, а в правом – максимальное значение. После решения обратной задачи, все плотности/намагниченности в нефиксированных слоях модели будут лежать в пределах указанного интервала. Если не нужно ограничивать значения с одной из сторон, то введите в соответствующем поле символ * или заведомо большое/малое значение.

После нажатия кнопки «Ок» будет запущен процесс решения обратной задачи гравиразведки или магниторазведки для сеточной модели.

Фиксация слоев

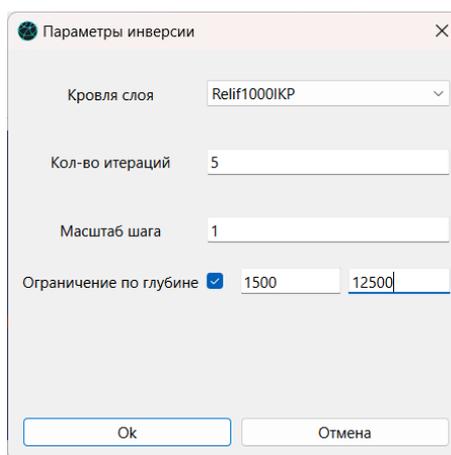
При решении обратной задачи можно фиксировать распределение плотности и намагниченности в заданных слоях, если границы слоев загружены в проект. Для этого необходимо открыть таблицу слоев с помощью меню «Модель – Слои» и в открывшемся меню поставить «галочки» в столбце «Фиксировать σ » / «Фиксировать J » напротив соответствующего слоя, после чего нажать «Ок».



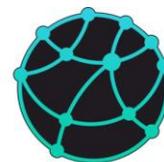
10.4.2 Подбор формы границ

Помимо подбора распределения плотности и/или намагниченности в сеточных моделях, в GravMagInv3D также реализованы возможности для подбора формы границ по аномалиям гравитационного или магнитного поля при фиксированном контрасте свойств. Опция «Обратная задача – Гравиразведка - Подбор формы границы (грав.)» предназначена для подбора формы кровли одного из слоев, имеющих в проекте, по гравитационному полю. Аналогично, опция «Обратная задача – Магниторазведка - Подбор формы границы (магн.)» предназначена для подбора формы кровли одного из слоев по магнитному полю (компонента ΔT).

При вызове одной из данных опций появляется диалоговое окно с выбором следующих параметров:



- Слой, для которого необходимо подобрать форму кровли;
- Количество итераций;
- Масштаб шага – относительный параметр, регулирующий максимальное изменение глубины слоя за одну итерацию. Чем больше значение данного параметра, тем



сильнее будут меняться глубины горизонта. Слишком большие значения данного параметра могут приводить к расхождению обратной задачи.

- Ограничение по глубине – минимальная и максимальная глубина подбираемой границы. Если требуется ограничить глубину только по минимуму или только по максимуму, то в соответствующем поле необходимо ввести минимальную/максимальную глубину, а в другом поле ввести символ «*» (без кавычек).
- Компонента магнитного поля, которая используется при подборе формы границы в случае решения обратной задачи магниторазведки.

После нажатия кнопки «Ок» будет запущен процесс решения обратной задачи гравиразведки или магниторазведки для границы. Программа автоматически определяет значения плотности или модуля намагниченности в ячейках над и под границей, после чего автоматически заполняет соответствующими значениями плотность и модуль намагниченности ячеек, сменивших слой.

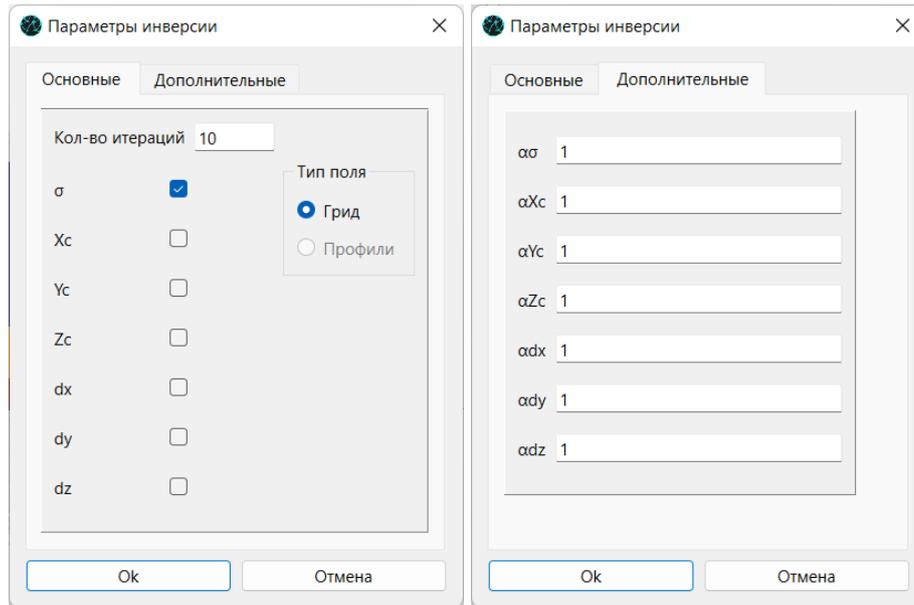
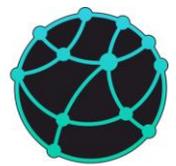
Обратите внимание, что при решении обратной задачи учитывается только одно поле (гравитационное или магнитное), однако заполнение свойств в ячейках после изменения формы границы происходит и в плотностной, и в магнитной модели (если обе модели присутствуют в проекте).

10.4.3 Блочные модели

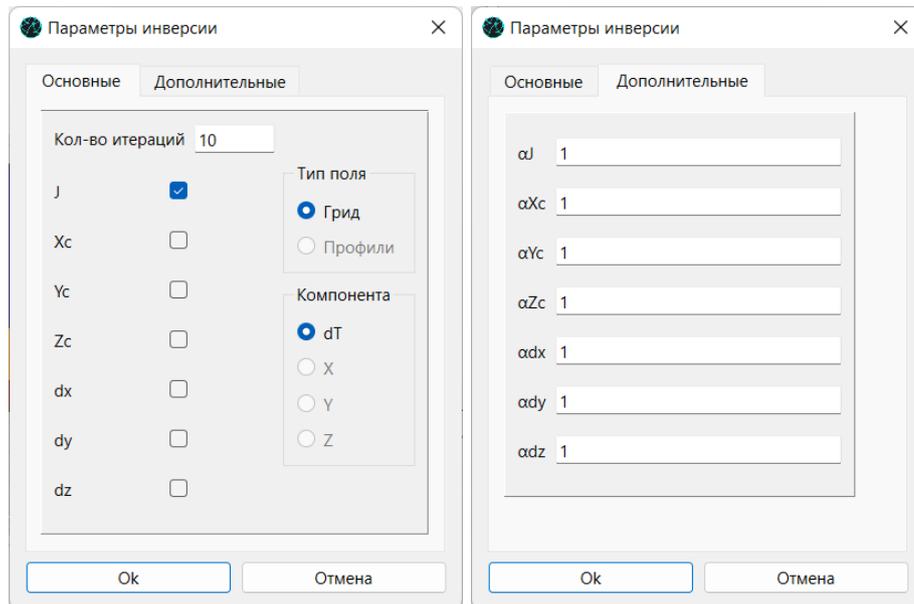
Помимо подбора сеточных моделей и формы границы, в GravMagInv3D также можно подбирать параметры тел, входящих в состав блочной модели. Подбор возможен по площадным данным, загруженным в качестве наблюдаемых полей (вкладка «Поля» в дереве проекта), а также по профильным данным, которые загружаются отдельно в окнах для соответствующих профилей.

Для каждого тела можно подобрать значение плотности или намагниченности (в зависимости от того, решается ли обратная задача гравиразведки или магниторазведки), а также геометрические параметры – координаты центра и размеры.

Для запуска решения обратной задачи гравиразведки или магниторазведки для блочной модели воспользуйтесь опцией «Обратная задача – Гравиразведка – Тела» или «Обратная задача – Магниторазведка – Тела» соответственно. После выбора соответствующей опции появится окно с выбором параметров решения обратной задачи:

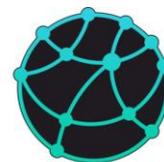


Параметры решения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки практически не отличаются, единственное отличие заключается в выборе компоненты магнитного поля, по которой выполняется подбор, в случае решения обратной задачи магниторазведки:



При решении обратной задачи для блочной модели можно выбрать следующие параметры:

- Подбираемые свойства – плотность (σ) / модуль намагниченности (J), координаты центра (X_c , Y_c , Z_c) и ширина вдоль каждой оси (dx , dy , dz). Выбранные параметры будут подбираться в процессе инверсии. Также для каждого тела можно отдельно отключить подбор соответствующих параметров через дерево проекта и менеджер свойств.



- Тип поля, по которому ведется подбор – площадные данные (грид) или профильные данные (профили).
- Компонента поля, по которой ведется подбор (актуально только для магниторазведки).
- Относительная скорость изменения подбираемых параметров (вкладка «Дополнительные») – с помощью данного параметра можно ускорять или замедлять изменение соответствующего подбираемого свойства. Задание слишком больших значений относительной скорости можно привести к «проскоку» минимума функционала невязки и расхождению результата инверсии.

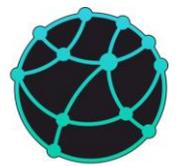
После нажатия кнопки «Ок» будет запущен процесс решения обратной задачи гравиразведки или магниторазведки для блочной модели.

10.5 Учет априорных данных

В GravMagInv3D 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.

В GravMagInv3D имеется несколько встроенных опций для создания «регуляризатора» (срединный и градиентный регуляризатор), однако в качестве «регуляризатора» может быть загружена любая сеточная модель или 3D грид.

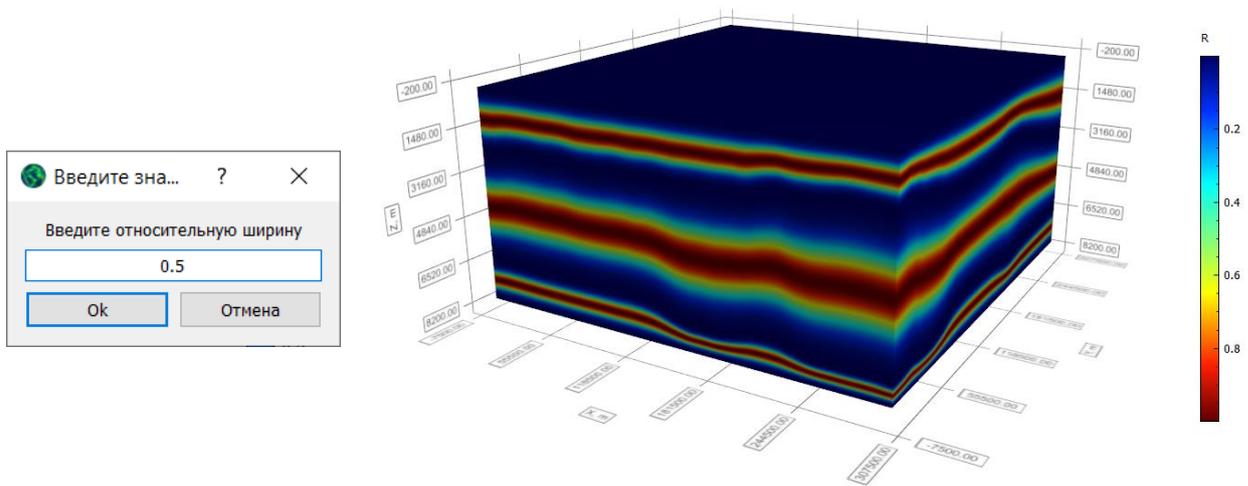


10.5.1 Срединный регуляризатор

Данный тип регуляризатора предназначен для подбора наибольших аномальных плотностей ближе к центральной линии слоя (среднее арифметическое между глубинами кровли и подошвы слоя).

Регуляризатор с единичной амплитудой

При вызове опции «Обратная задача – Срединный регуляризатор – Единичная амплитуда» открывается диалоговое окно, в котором необходимо ввести «относительную ширину» - параметр, контролирующий затухание регуляризатора от центра слоя к кровле и подошве:

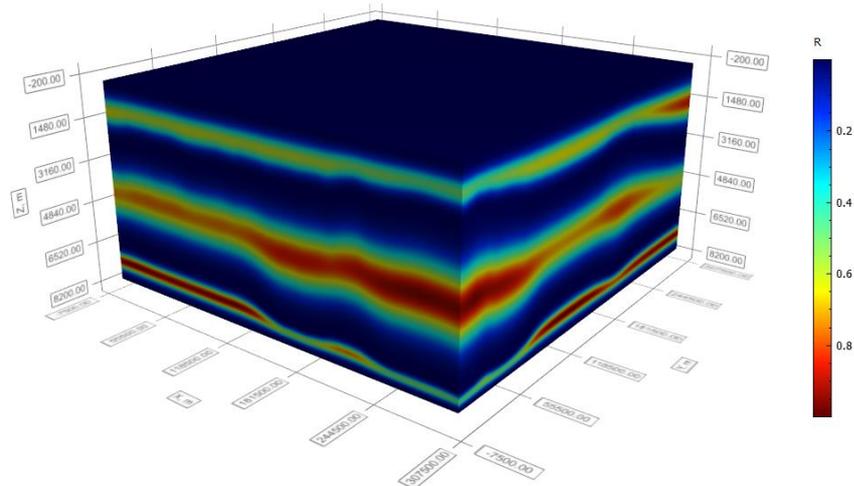
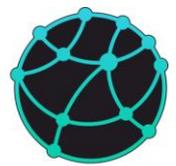


Уменьшение значение регуляризатора от середины слоя к кровле и подошве осуществляется по функции Гаусса. Относительная ширина – расстояние по вертикали между точками, в которых амплитуда регуляризатора равна 0.5. Чем больше значение относительной ширины, тем медленнее будет меняться регуляризатор в пределах слоя.

Регуляризатор, учитывающий мощность слоя

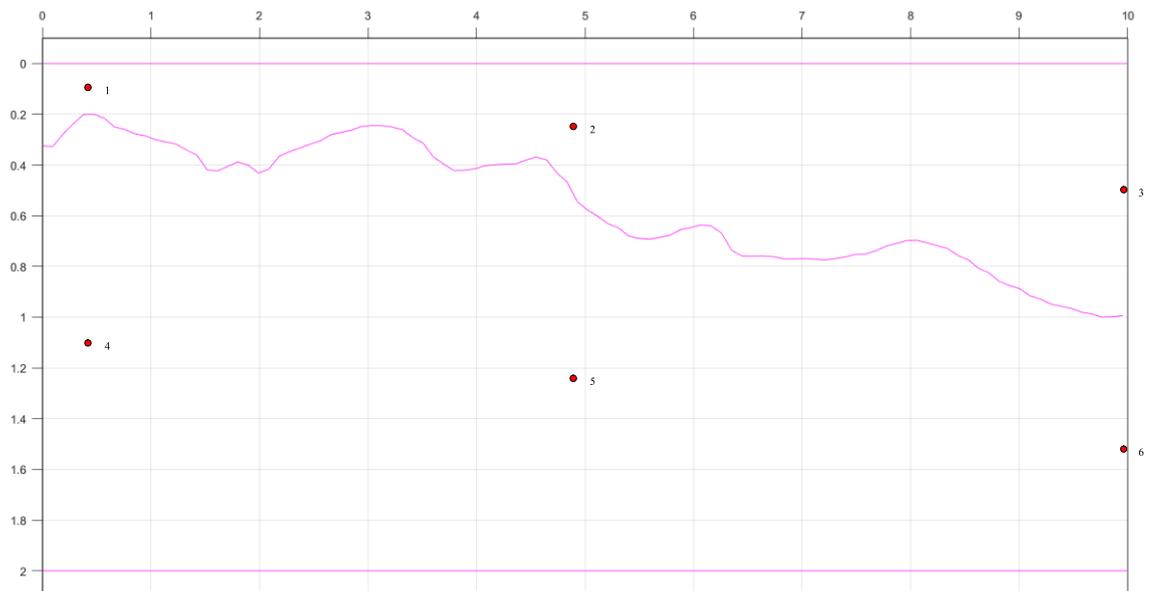
Срединный регуляризатор с переменной амплитудой, пропорциональной мощности слоя, можно построить с помощью опции «Обратная задача – Срединный регуляризатор – Амплитуда по мощности слоя». Для построения регуляризатора также нужно ввести относительную ширину.

Данный тип регуляризатора похож на срединный регуляризатор с единичной амплитудой, однако максимальное значение регуляризатора в каждом слое для каждой пары координат XY зависит от мощности слоя – значения регуляризатора пропорциональны значению мощности слоя в данной точке XY:

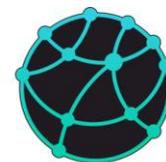


Например, если в текущей точке XY мощность рассматриваемого слоя в 2 раза меньше максимальной мощности этого слоя, то амплитуда регуляризатора в данной точке XY посередине между кровлей и подошвой составит 0.5.

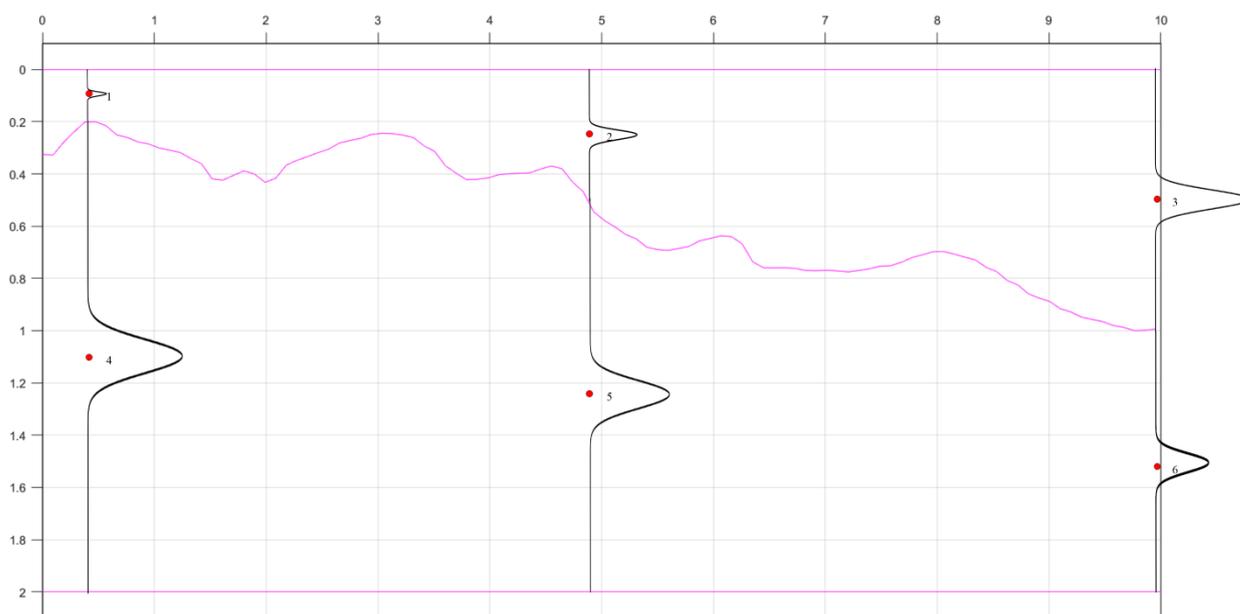
Рассмотрим в качестве примера двухслойную модель (границы нарисованы фиолетовым):



Точки, отмеченные на рисунке выше, располагаются в серединах соответствующих слоев. Точка 3 расположена на вертикали, на которой достигается наибольшая мощность верхнего слоя. Поэтому в точке 3 амплитуда регуляризатора будет равна 1. В точках 1 и 2 мощности слоев равны 0.2 и 0.5 от максимальной мощности соответственно. Поэтому в них амплитуда регуляризатора будет равна 0.2 (точка 1) и 0.5 (точка 2).

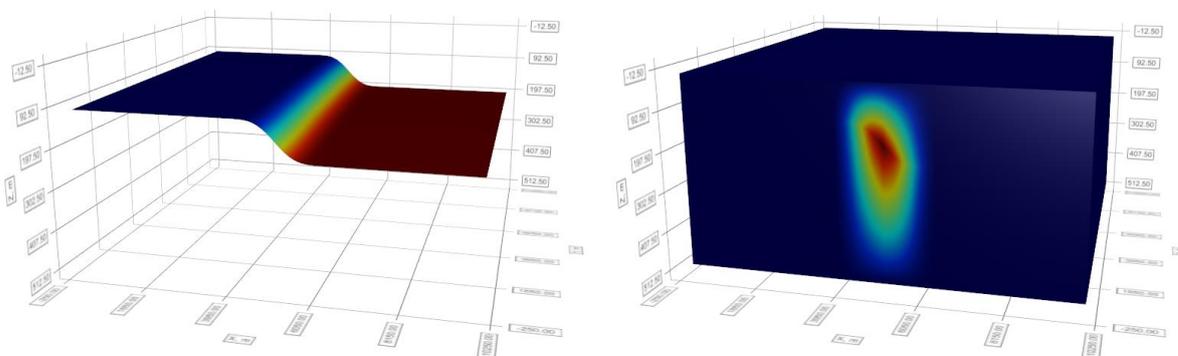


Аналогично, рассмотрим нижний слой. Мощность нижнего слоя максимальна на вертикали, проходящей через точку 4, и равна 1.8. В точке 4 амплитуда регуляризатора составит 1 (из-за максимальной мощности слоя). В точке 5 мощность слоя равна 1.5, что составляет $5/6$ от максимальной мощности слоя. Поэтому в точке 5 амплитуда регуляризатора составит $5/6$. В точке 6 мощность слоя равна 1, что составляет $5/9$ от максимальной мощности слоя, а значит амплитуда регуляризатора в этой точке составит $5/9$:

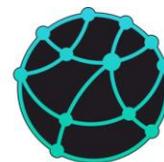


10.5.2 Градиентный регуляризатор

Данный тип регуляризатора учитывает поведение границ, загруженных в проект – наибольший приоритет при подборе модели с градиентным регуляризатором будет отдаваться областям, где происходят наиболее резкие изменения границы:



Значения регуляризатора линейно интерполируются от кровли к подошве слоя.



10.6 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
- Границы слоев для подбора формы границы.

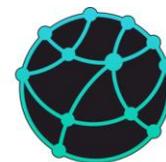
Стоит отметить, что использовать совместную инверсию рекомендуется в первую очередь в случаях, когда по априорным геологическим данным предполагается, что источниками аномалий гравитационного и магнитного поля являются одни и те же геологические структуры.

10.6.1 Сеточные модели

В GravMagInv3D 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 – Грид». После нажатия на соответствующий пункт меню появится окно настройки параметров инверсии, аналогичное окну, которое рассматривалось в разделе [10.4.1](#).

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 [10.5](#)) 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;

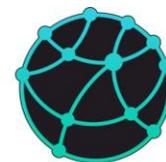
- Model-reg (anom min) – подход, аналогичный Model-reg (abs) и Model-reg (anom mean), однако при расчете регуляризаторов предварительно происходит вычитание минимальных значений на каждой глубине.

10.6.2 Подбор формы границы

Помимо совместного подбора сеточных плотностных и магнитных моделей, в GravMagInv3D также реализована возможность подбора формы границы между слоями с фиксированным контрастом плотности и намагниченности, при этом минимизироваться будет одновременно и гравитационное, и магнитное поле.

Для запуска совместной инверсии для границы необходимо нажать на пункт меню «Обратная задача – Совместная инверсия – Границы». После нажатия на соответствующий пункт меню появится окно настройки параметров инверсии, аналогичное окну, которое рассматривалось в разделе [10.4.2](#).

Помимо параметров, которые рассматривались ранее, в данном окне также имеется параметр «Grav:Mag», с помощью которого настраивается соотношение вкладов каждого из методов в изменение формы границы на каждой итерации. При значениях больше 1, больший вес будут иметь данные гравиразведки, при значениях от 0 до 1 больший вес будут иметь данные магниторазведки.



11 Форматы данных

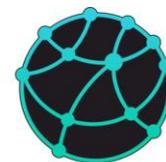
11.1 Используемые форматы

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 3D гриды	GMI 3DGrid* (.3Dgrd) SEG-Y (.segy, .sgy) XYZ (.xyz)	GMI 3DGrid* (.3Dgrd) SEG-Y (.segy, .sgy) XYZ (.xyz)
Наблюденные поля Точки наблюдения Карты Горизонты Рельеф	Surfer 7 Binary grid (.grd) Surfer 6 Text grid (.grd) SEG-Y (.segy, .sgy) ZMAP (.dat)	Surfer 7 Binary grid (.grd) Surfer 6 Text grid (.grd) SEG-Y (.segy, .sgy) ZMAP (.dat) CPS-3 grid (.grd)
Тела	GMI Blocks* (.txt)	GMI Blocks* (.txt)
Разломы	Charisma faults	Charisma faults
Профили	GMI Profiles* (.bln)	GMI Profiles* (.bln)
Скважины	GMI Wells* (.txt)	GMI Wells* (.txt)
Точки	GMI Points* (*.txt)	Points* (*.txt)
Геометрические объекты	ESRI Shape (.shp)	ESRI Shape (.shp)
Профильные данные	GMI 1D data* (.txt)	GMI 1D data* (.txt)

* - встроенные форматы

У импортируемых SEG-Y файлов обязательно должны быть заполнены заголовки CDP-X (байты 81-84), CDP-Y (байты 85-88), INLINE (байты 189-192), CROSSLINE (байты 193-196). Если сетка модели, импортируемой из SEG-Y файла, повернута в горизонтальной плоскости, GravMagInv3D автоматически пересчитывает координаты в условные, т.к. в программе не предусмотрена работа с повернутыми сеточными моделями.



11.2 Описание внутренних форматов

11.2.1 3D сеточные модели

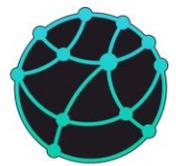
Встроенный формат бинарных файлов GMI 3DGrid, используемый для сохранения на диске 3D сеточных моделей, имеет следующую структуру: файл начинается с заголовка размером 60 байт, после которого идет блок данных размером $N_x * N_y * N_z * 4$ байт (каждое число имеет тип float и размер 4 байта).

Структура заголовка приведена в таблице ниже:

Значение	Количество байт	Байты	Тип
Количество ячеек по оси X	4	0 – 3	Int
Количество ячеек по оси Y	4	4 – 7	Int
Количество ячеек по оси Z	4	8 – 11	Int
Минимальная координата по оси X	8	12 – 19	Double
Максимальная координата по оси X	8	20 – 27	Double
Минимальная координата по оси Y	8	28 – 35	Double
Максимальная координата по оси Y	8	36 – 43	Double
Минимальная координата по оси Z	8	44 – 51	Double
Максимальная координата по оси Z	8	52 - 59	Double

11.2.2 Тела (блоки)

Тела в GravMagInv3D можно загружать и сохранять в файлы формата GMI Blocks (расширение *.txt). Файлы данного формата являются текстовыми и имеют следующую



структуру: всего в файле должно содержаться $6 * N$ строк, где N – количество тел. Под каждое тело отводится 6 строк, внутри каждой строки в качестве разделителя рекомендуется использовать пробел:

Первая строка – имя тела

Вторая строка – набор свойств тела: идентификатор геометрии (0 – сфера, 1 – тонкий стержень, 2 – прямоугольный параллелепипед), плотность, намагниченность, склонение и наклонение.

Третья строка – координаты $X Y Z$ центра тела (для сферы) или центра верхней кромки (для остальных типов геометрии)

Четвертая строка – диаметр сферы или три значения ширины по каждой оси (для стержня под шириной по осям X и Y подразумевается ось эллипса)

Пятая строка – углы поворота вокруг каждой оси в градусах

Шестая строка – цвет в RGB (каждое число от 0 до 255).

Пример:

sphere

0 0.1 0.5 10 80

15000 15000 1000

1000

0 0 0

0 255 0

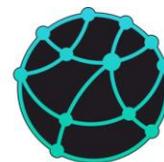
cylinder

1 0.1 0.5 10 80

20000 15000 2000

1000 2000 3000

0 0 0



255 0 0

parallelepiped

2 0.1 0.5 10 80

1000 25000 500

1000 1500 3000

0 0 45

0 0 255

11.2.3 Профили

Профили в GravMagInv3D можно загружать и сохранять в файлы формата GMI Profiles (расширение *.bln). Файлы данного формата являются текстовыми и имеют следующую структуру: каждый профиль начинается с заголовочной строки, в которой указывается количество точек профиля, далее на каждой новой строке указываются координаты точки профиля.

Пример файла с двумя профилями из двух точек:

2

0 0

1000 500

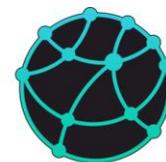
2

500 800

900 200

11.2.4 Скважины

Скважины в GravMagInv3D можно загружать и сохранять в файлы формата GMI Wells (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 6 значений, разделенных пробелом или знаком табуляции: имя скважины (**не используйте в имени скважин пробелы и знаки табуляции**), координата X, координата Y, абсолютная отметка устья, глубина скважины и радиус скважины.

Пример файла:

Name	X	Y	Elev	Depth	R
C.1	6000	15000	0	2000	100
C.2	24000	5000	0	3000	100

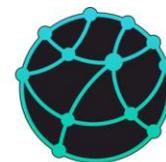
11.2.5 Таблица средних значений

В GravMagInv3D можно заполнять видимую сеточную модель средними значениями на каждой глубине из текстового файла, а также экспортировать средние значения на каждой глубине в текстовый файл следующей структуры: первая строка заголовочная и может содержать названия столбцов или любую другую информацию (строка пропускается при чтении файла), далее на каждой строке идут два значения, разделенные пробелом: глубина и значение свойства.

Пример:

```
z den
0 2.00033
20 2.00065
40 2.00097
```

Также можно работать с послойными средними значениями, в таком случае для каждого слоя необходимо создать два столбца: глубина и значение свойства. Если на заданной глубине отсутствуют значения для данного слоя, то на месте значения указывается символ *. В заголовочной строке также может содержаться произвольная текстовая строка.



Пример:

z1 den1 z2 den2 z3 den3

0 2.00033 0 * 0 *

20 2.00065 20 * 20 *

40 2.00097 40 * 40 *

60 2.00127 60 * 60 *

80 2.00156 80 * 80 *

100 2.00185 100 3.001 100 *

120 2.00212 120 3.015 120 3.21

140 2.00239 140 3.02 140 3.25

11.2.6 Профильные поля

Если в проект GravMagInv3D загружены профили, то в проект можно импортировать профильные наблюдаемые поля из текстового файла, имеющего следующую структуру: первая строка является заголовочной, в ней можно задать любой текст, начиная со второй строки идут пары значений: расстояние от начала профиля и значение поля. В качестве разделителя можно использовать пробел или знак табуляции. Пример:

Dist dg

0 2.1292

250 2.01951

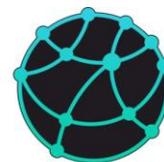
500 1.89775

750 1.81165

1000 1.6869

1250 1.58873

1500 1.52995



1750 1.49287

11.2.7 Точки

Точки в GravMagInv3D можно загружать и сохранять в файлы формата GMI 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 4 или 5 значений, разделенных пробелом или знаком табуляции: координата X, координата Y, 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	Z	Name	Group
139000		6250 125	Max_(139000,_6250,_125)	Extremes_WS_Z
144500		9250 125	Max_(144500,_9250,_125)	Extremes_WS_Z
154000		13250 125	Max_(154000,_13250,_125)	Extremes_WS_Z
57750	13500	125	Max_(57750,_13500,_125)	Extremes_WS_Z