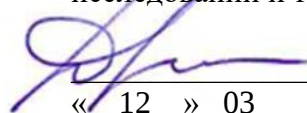


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЦКП «Центр морских
исследований и технологий»



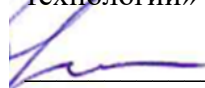
В.И. Двухшорстнов

«_12_» _03_____ 2023 г.

**МЕТОДИКА
проведения научно-исследовательских работ на НИС «Пионер-М» с
использованием морского магнитометра**

Разработал

Инженер 2 категории Морского учебно-
исследовательского полигона ЦКП
«Центр морских исследований и
технологий»



М.Д. Калиничев

«_12_» _03_____ 2023 г.

Содержание

1. Введение	3
2. Сокращения	5
3. Основы теории геомагнитного поля и магниторазведки	6
4. Состав оборудования и описание работы морского магнитометра	15
5. Порядок проведения исследовательских работ с использованием морского магнитометра и программного обеспечения	20
Приложение 1. Карты магнитного наклонения и полной напряженности магнитного поля Земли	41
Приложение 2. Инструкция по эксплуатации аккумуляторной батареи	43
Приложение 3. Инструкция для пользователя зарядного устройства	45
Приложение 4. Программа двумерной интерпретации данных магниторазведки и гравиразведки.ZONDGM2D	47
Приложение 5. Программа для трехмерной интерпретации данных магниторазведки ZondGM3D	54

1. Введение

Магнитометрическая или магнитная разведка (магниторазведка) — это геофизический метод решения геологических задач, основанный на изучении магнитного поля Земли. Магнитные явления и наличие у Земли магнитного поля были известны человечеству еще в глубокой древности. Так же давно эти явления люди использовали для практической деятельности, например применение компаса для ориентации. Однако лишь со второй половины XIX в. измерения напряженности магнитного поля для поисков сильно магнитных рудных залежей привели к созданию магниторазведки. В России специальные исследования магнитного поля с геологическими целями были проведены на Курской магнитной аномалии в конце XIX века. В 1919 г. была начата магнитная съемка Курской области, положившая начало генеральной магнитной съемке территории нашей страны и развитию всей отечественной разведочной геофизики.

Земля, как космическое тело определенного внутреннего строения, генерирует постоянное магнитное поле, называемое нормальным или первичным. Многие горные породы и руды обладают магнитными свойствами и способны под воздействием этого поля приобретать намагниченность и создавать аномальные или вторичные магнитные поля. Выделение этих аномальных полей из наблюдаемого или суммарного геомагнитного поля, а также их геологическое истолкование является целью магниторазведки.

От других методов разведочной геофизики магниторазведка отличается наибольшей производительностью, особенно в аэроварианте. Магниторазведка является эффективным методом поисков и разведки железных руд. Однако ее широко применяют и при геологическом картировании, структурных исследованиях и поисках других полезных ископаемых.

Настоящее методика предназначена для изучения устройства, принципа действия и правильного применения морского магнитометра MariMag, производства ООО «ГЕОДЕВАЙС», с борта НИС «Пионер-М» или маломерных судов эксплуатирующим персоналом.

Методика содержит сведения о комплектации, конструкции, принципе действия, технических характеристиках магнитометра, эксплуатационных ограничениях; указания по подготовке к работе, использовании, транспортировании и хранении; указания мер безопасности, необходимые для его правильного применения, для сохранения эксплуатационной надёжности и безопасности прибора.

Требования методики являются обязательными к выполнению для всех лиц, задействованных в эксплуатации, хранении, транспортировке и выполнении прочих манипуляций с магнитометром.

Методика должна всегда находиться в непосредственной близости от места эксплуатации прибора и быть доступным для эксплуатирующего персонала.

Эксплуатационная надёжность и безопасность магнитометра гарантируется только при соблюдении всех следующих условий одновременно:

- применение прибора строго по назначению;
- эксплуатация магнитометра в допустимых согласно эксплуатационной документации среде и условиях;
- выполнение указаний по применению, мер безопасности и всех прочих рекомендаций и требований методики.

2. Сокращения

АКБ — аккумуляторная батарея;

ГНСС — глобальная спутниковая система навигации;

З/У — зарядное устройство;

ИНС — инерциальная навигационная система;

МВС — магнитовариационная станция;

МПЗ — магнитное поле Земли;

НЧ — низкая частота;

ОС — операционная система;

ПК — персональный компьютер;

ПП — преобразователь первичный

3. Основы теории геомагнитного поля и магниторазведки

Элементы геомагнитного поля и его происхождение

В любой точке земной поверхности существует магнитное поле, которое определяется полным вектором напряженности T , т.е. направлением действия и модулем. Вдоль вектора T устанавливается подвешенная у центра тяжести магнитная стрелка. Проекция этого вектора на горизонтальную поверхность и вертикальное направление, а также углы, составленные этим вектором с координатными осями, носят название элементов магнитного поля (рис. 1).

Если ось x прямоугольной системы координат направить на географический север, ось y — на восток, а ось z — вертикально вниз, то проекцию полного вектора T на ось z называют вертикальной составляющей и обозначают Z . Проекцию полного вектора T на горизонтальную плоскость называют горизонтальной составляющей H . Направление H совпадает с магнитным меридианом и задается осью стрелки компаса или буссоли.

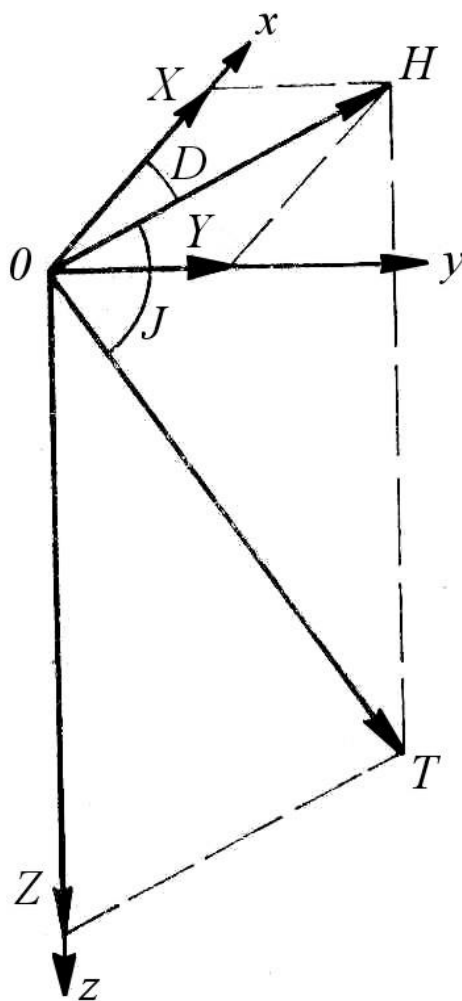


Рис.3.1 Элементы земного магнитного поля.

Направление координатных осей:

x — север; y — восток; z — к центру Земли

Проекцию H на ось X называют северной (или южной) составляющей X , проекцию H на ось y — восточной (или западной) составляющей Y . Угол между осью x и составляющей H называют склонением и обозначают D . Принято считать восточное склонение положительным, западное — отрицательным. Угол между вектором T и горизонтальной плоскостью называют наклоном и обозначают J . При наклоне северного конца стрелки наклонение называют северным (или положительным), при наклоне моментов магнитного поля Земли выражают следующими формулами:

$$H = T \cdot \cos J, Z = T \cdot \sin J, Z = H \cdot \operatorname{tg} J, T^2 = H^2 + Z^2 \text{ и др. (1)}$$

При магнитной разведке измеряют лишь одну-две составляющие поля или их приращение (как правило, это ΔZ и T). Распределение значений элементов магнитного поля на земной поверхности обычно изображают в виде карт изолиний, т. е. линий, соединяющих точки с равными значениями того или иного параметра. Изолинии склонения называются изогонами, изолинии наклонения — изоклинами, изолинии H , Z или T — соответственно изодинами H , Z или T . Эти карты строят на 1 июля каждого года и называют их картами эпохи такого-то года (например, карта эпохи 1986 г.).

Единицей напряженности магнитного поля в системе СИ является ампер на метр (А/м), а в системе СГС — эрстед (Э). В практике магниторазведки широко применяется также внесистемная единица напряженности магнитного поля — гамма (γ). Перечисленные единицы измерения напряженности магнитного поля соотносятся следующим образом:

$$1 \text{ А/м} = 4\pi \cdot 10^{-1} \text{ Э}, 1 \text{ Э} = 10^5 \gamma$$

В реальных средах измеряемым параметром магнитного поля служит магнитная индукция $B = \mu_0 T(1 + \chi)$, где μ_0 — абсолютная магнитная проницаемость вакуума (в СИ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн м-1); χ — магнитная восприимчивость, $\chi = I / T$; где I — индуктивная намагниченность. Единицей измерения магнитной индукции в СИ является тесла (Тл). В магниторазведке используется более мелкая единица B — нанотесла (нТл), $1 \text{ нТл} = 10^{-9} \text{ Тл}$. Магниторазведочная аппаратура обычно находится в немагнитной среде — воздухе или воде, для которых $\chi = 0$, поэтому $B = \mu_0 T$.

Следовательно, магнитное поле Земли может быть выражено либо в единицах магнитной индукции (нТл), либо в единицах напряженности, при этом 1 нТл соответствует 1γ .

В первом приближении магнитное поле Земли может быть уподоблено полю намагниченного шара или полю магнитного диполя $T_{\text{дип}}$, расположенного в области центра Земли, ось которого по отношению к оси вращения Земли составляет 11° . Места выхода продолжений оси этого диполя на поверхность Земли называют геомагнитными полюсами Земли. Область выхода южного конца оси диполя носит название северного магнитного полюса, а область выхода северного окончания оси диполя — южного. Северный магнитный полюс находится на 72° с.ш. и 96° з. д. в 1400 км от северного географического полюса Земли.

Многочисленными наблюдениями значений магнитного поля Земли показано, что в среднем полный вектор напряженности T изменяется от $0,66 \cdot 10^5$ нТл на полюсах до $0,33 \cdot 10^5$ нТл в районе экватора. При этом вертикальная составляющая Z уменьшается от $0,66 \cdot 10^5$ нТл до нуля, а горизонтальная составляющая H увеличивается от нуля до $0,33 \cdot 10^5$ нТл. Детальное изучение магнитных свойств горных пород различного возраста на разных континентах установило миграцию (изменение местоположения) магнитных полюсов и их инверсию, т. е. смену знаков (направления), происходящую с периодом от 0,5 до нескольких десятков миллионов лет.

Происхождение магнитного поля Земли объясняют различными причинами, связанными с внутренним строением Земли. Наиболее достоверной и приемлемой гипотезой, объясняющей магнетизм Земли, является гипотеза вихревых токов в ядре. Эта гипотеза основана на том установленном геофизиками факте, что на глубине 2900 км под мантией Земли находится внешнее жидкое ядро с высокой электрической проводимостью, которая объясняется большим числом свободных электронов в веществе ядра вследствие высоких температур и давления. Благодаря так называемому гиромангнитному эффекту и вращению Земли во время ее образования могло возникнуть очень слабое магнитное поле. Наличие свободных электронов в ядре и вращение Земли в таком слабом магнитном поле привели к индуцированию в ядре вихревых токов. Эти токи, в свою очередь, создают (регенерируют) магнитное поле, как это происходит в динамомашинах. Увеличение же магнитного поля Земли должно привести к новому увеличению вихревых токов в ядре, а последнее — к увеличению магнитного поля и т.д.

Процесс подобной регенерации длится до тех пор, пока рассеивание энергии вследствие вязкости ядра и его электрического сопротивления не компенсируется добавочной энергией вихревых токов и другими причинами.

Нормальное и аномальное магнитное поле

Вклад дипольной составляющей $T_{\text{дип}}$ в наблюдаемое магнитное поле Земли составляет примерно 70%, что объясняет такие его глобальные особенности, как увеличение напряженности магнитного поля в 2 раза при переходе от экватора к полюсу. В наблюдаемом поле выделяют также составляющие, связанные с особенностями внутреннего строения Земли, называемые материковыми аномалиями T_m . Эти плавно изменяющиеся компоненты образуют на Земле шесть крупных, соизмеримых с площадью материков положительных и отрицательных аномалий с амплитудой $(0,1—0,2) \cdot 10^5$ нТл.

В настоящее время еще не выработана единая точка зрения относительно происхождения T_m . Видимо, источники их располагаются на глубине около 3000 км, на уровне внешней границы ядра Земли. В практике магниторазведки принято называть нормальным геомагнитным полем (или

главным магнитным полем Земли) в рассматриваемой точке сумму полей диполя $T_{\text{дип}}$ и материковых аномалий T_m : $T_{\text{норм}} = T_{\text{дип}} + T_m$.

Нормальное магнитное поле Земли специально рассчитывают и существуют таблицы или карты $T_{\text{норм}}$, $Z_{\text{норм}}$ для определенного периода времени и для каждой точки Земли.

Отклонения наблюдаемых значений магнитного поля Земли T от нормального поля $T_{\text{норм}}$ являются аномалиями магнитного поля ΔT_a , ΔZ_a , ΔH_a :

$$\Delta T_a = T - T_{\text{норм}}, \Delta Z = Z - Z_{\text{норм}} \quad (2)$$

В зависимости от протяженности участка или площади, на которых они выделяются, аномалии магнитного поля подразделяют на локальные и региональные (относительно друг друга для данного района исследования). В северном полушарии направление намагничивающего поля Земли близко к вертикальному, поэтому более яркими и локализованными являются положительные аномалии. Интенсивность и характер магнитных аномалий зависят от интенсивности намагниченности горных пород I , которая определяется их магнитными свойствами и свойствами вмещающих пород и напряженностью магнитного поля Земли, а также зависит от формы, размеров и глубины залегания аномалообразующих масс. К магнитным свойствам кроме магнитной восприимчивости χ , определяющей индуктивную намагниченность $I_i = \chi T$, относится остаточная намагниченность I_n , т. е. $I \approx I_i + I_n$.

Вариации магнитного поля

Наблюдения магнитного поля Земли в течение длительного времени показывают, что напряженность магнитного поля и его элементы изменяются во времени. Эти изменения получили название вариаций: $\delta T_{\text{вар}}$, $\delta Z_{\text{вар}}$ и др. По частотному составу, интенсивности и происхождению принято различать четыре вида магнитных вариаций: вековые, годовые, суточные и магнитные возмущения (бури). Вековые вариации магнитного поля происходят в течение длительных периодов времени в десятки и сотни лет и приводят к значительным изменениям среднегодовых значений элементов земного магнетизма. Под изменением того или иного элемента магнитного поля (вековой ход) понимают разности значений этих элементов в разные эпохи, деленные на число лет между эпохами. Вековой ход рассчитывают по наблюдениям напряженности поля на магнитных обсерваториях и опорных пунктах. Поскольку подобных многовековых наблюдений мало, то закономерность вековых вариаций установить трудно, хотя намечается их изменение с периодом в несколько сотен лет. Степень изменения элементов земного магнитного поля различна для разных районов Земли, имеется несколько зон (фокусов), в которых они максимальны. Возникновение вековых вариаций, видимо, объясняется процессами, протекающими внутри Земли (в ядре и на границе ядра с мантией). В меньшей степени они связаны с особенностями строения земной коры.

На постоянное поле Земли накладывается переменное магнитное поле (вариации годовые, суточные, магнитные бури), вызванное внешними процессами, происходящими в ионосфере. Годовые вариации — это изменения среднемесячных значений напряженности магнитного поля. Они характеризуются небольшой амплитудой. Суточные вариации связаны с солнечно-суточными и лунно-суточными изменениями напряженности магнитного поля из-за изменения солнечной активности. Вариации достигают максимума в полдень по местному времени и при противостоянии Луны. Амплитуда суточных вариаций зависит от магнитной широты района наблюдения и изменяется от первых десятков до 200 нТл при переходе от экватора к полюсам. Годовые и суточные вариации являются плавными, периодическими. Их называют невозмущенными вариациями.

Кроме невозмущенных (периодических) вариаций существуют возмущенные вариации, к которым относятся непериодические импульсные вариации и магнитные бури. Магнитные бури бывают разной интенсивности (до 1000 нТл и более) и охватывают, как правило, большие площади. Они возникают спорадически и проходят по всей земной поверхности либо одновременно, либо с запаздыванием до нескольких часов.

Продолжительность магнитных бурь колеблется от нескольких часов до нескольких суток, а интенсивность изменяется от нескольких до тысяч нанотесл. Намечается четкая связь между интенсивностью магнитных бурь и солнечной активностью. В годы максимумов солнечной активности, период которых около 11 лет, наблюдается наибольшее число бурь. При проведении магниторазведки необходимо учитывать и исключать вариации магнитного поля, если их амплитуды сравнимы со значениями аномалий магнитного поля от изучаемых геологических структур или превышают их.

Принципы измерений геомагнитного поля

Измерения магнитного поля Земли и его вариаций проводят как на стационарных пунктах — магнитных обсерваториях, которых насчитывается на Земле около 150, так и во время магниторазведочных работ. При абсолютных определениях полного вектора напряженности магнитного поля определяют, как правило, три элемента магнитного поля (например, Z , D , H). Для этого применяют сложные трехкомпонентные магнитные приборы — магнитные теодолиты и вариационные станции, которые ведут запись автоматически.

При геологической разведке измеряют абсолютные T и относительные по отношению к какой-нибудь исходной (опорной) точке ΔT , ΔZ элементы. Если исследуемая площадь невелика (несколько десятков квадратных километров), то нормальное поле можно считать постоянным и равным полю на исходной точке, оно принимается за условный нуль. При больших площадях исследования следует учитывать изменение нормального магнитного поля Земли.

Приборы для магнитной разведки (магнитометры) характеризуются разнообразием принципов устройства. В настоящее время в основном используют четыре типа магнитометров — оптико-механические, феррозондовые, протонные и квантовые.

Методика магниторазведки

Под методикой магниторазведки, как и гравиразведки (см. гл. 2), понимается выбор метода и аппаратуры, вида съемок и систем наблюдения, погрешности и формы представления материалов, направленных на получение кондиционного материала о распределении аномалий магнитного поля, с помощью которого можно решить поставленные геологические задачи.

Основными методами магниторазведки являются полевые (наземные, пешеходные или автомобильные), воздушные (аэромагниторазведка), морские (гидромагнитные) съемки, а также подземные и скважинные наблюдения. По решаемым геологическим задачам различают следующие виды магнитных съемок:

а) региональные (аэромагнитные и гидромагнитные), выполняемые в масштабах 1:200 000 и мельче и предназначенные для изучения глубинного геологического строения крупных территорий суши и акваторий;

б) картировочные (аэромагнитные и полевые), проводимые в масштабах 1:100000 - 1:50000 и применяемые для решения задач геологического картирования с оценкой перспективности изучаемых площадей на железорудные и другие полезные ископаемые;

в) картировочно-поисковые (как правило, полевые), предназначенные для крупномасштабного геологического картирования (масштабы 1:50000 - 1:10000), а также непосредственных поисков железорудных и других полезных ископаемых;

г) поисково-разведочные и детальные (полевые, подземные и скважинные), при которых работы проводят в масштабах 1: 10000 и крупнее и решают задачи выявления рудных тел, оценки их размеров, формы, положения, намагниченности.

Полевая магнитная съемка

Полевую, как правило, пешеходную магнитную съемку проводят с помощью портативных магнитометров типа М-27М, ММП-203, ММП-303 и др. Она отличается достаточно высокой производительностью: в зависимости от детальности и категории местности отряд из двух человек отрабатывает от нескольких десятков до двух сотен точек наблюдений за смену.

Выбор системы наблюдений. Различают два вида магнитных съемок: маршрутные (профильные) и площадные. Первые применяют как при рекогносцировочных исследованиях для выявления общих закономерностей аномального магнитного поля пересекаемых геологических структур и уточнения их границ, так и по интерпретационным профилям при

высокоточных съемках. Проводимые чаще площадные съемки, выполняемые по системе параллельных профилей, позволяют судить о форме и простирации аномалий магнитного поля на исследуемой площади. Принцип выбора профилей и шага съемки такой же, как в гравirazведке. Однако в связи с более сложной структурой аномального магнитного поля связь аномалий с параметрами искоемых геологических объектов более сложная, поэтому сеть наблюдений должна быть более густой. Это, кстати, легче реализовать, так как магнитная съемка проводится быстрее, чем гравиметрическая. Расстояние между профилями берут примерно в 5 раз меньше длины, а шаг — в 5 раз меньше поперечных размеров разведываемых объектов. В целях стандартизации методики рекомендуется выбирать расстояния между пикетами 5, 10, 20, 25, 50, 100 м. Сеть наблюдений в зависимости от масштаба разбивают как инструментально, так и визуально по аэрофотоснимкам с измерением расстояний шагами (с обязательным закреплением начала и конца каждого профиля с помощью инструментальной привязки).

Проектная точность зависит не только от масштаба съемки (расстояние между профилями должно составлять примерно 1 см в масштабе выдаваемой карты), но и в основном от величины ожидаемых магнитных аномалий, которые должны быть в 2—3 раза больше средней квадратической погрешности съемки. При работах с оптикомеханическими магнитометрами, как и в гравirazведке, разбивают опорную сеть, на которую опираются рядовые пункты наблюдения. При работах с протонными и квантовыми магнитометрами, у которых сползание нуля практически отсутствует, разбивать опорную сеть необязательно.

Учет влияния вариаций. В отличие от гравirazведки при магнитной разведке необходимо вводить поправки за вариации магнитного поля, амплитуды и частоты которых нередко сравнимы с амплитудами и формой аномалий за счет геологических неоднородностей. Для этого с помощью так называемых магнитных вариационных станций (МВС) или обычных магнитометров того же типа, с которыми ведется съемка, на базе экспедиции ведут измерения напряженности магнитного поля.

Погрешность магнитной съемки и способы представления результатов.

Контроль качества проведенных магнитных работ осуществляют путем постановки независимых контрольных наблюдений, выполняемых в объеме до 5 %, от общего числа точек, желательно другим прибором и оператором и обязательно в другое время, например в конце полевого сезона.

Интерпретация магнитных аномалий

Поскольку в результате магнитной съемки получают аномалии, обусловленные намагниченностью тех или иных геологических объектов, а влияние магнитного поля Земли исключают введением поправок за

нормальное поле, то в теории магниторазведки рассчитывают аномальные магнитные поля лишь самих тел с разными геометрическими параметрами, магнитными свойствами и направлением намагниченности.

Прямые и обратные задачи магниторазведки

Прямая задача магниторазведки состоит в определении параметров магнитного поля (вычислении магнитных аномалий) по известным характеристикам магнитных масс: формы, размеров, глубины залегания, углов намагничения и магнитной восприимчивости.

Обратная задача магниторазведки представляет собой количественный расчет параметров (форма, размеры, глубина залегания и др.) магнитных масс по заданному на профиле или площади распределению значений одного или нескольких элементов магнитного поля Земли.

Интерпретация данных магниторазведки

Интерпретация результатов магниторазведки включает геофизическую интерпретацию и геологическое истолкование, тесно связанные между собой.

Первым этапом является качественная интерпретация аномалий магнитного поля, позволяющая по морфологии аномального поля судить о плановом положении тех или иных геологических или структурных элементов, а имея общие сведения о магнитных свойствах горных пород и геолого-структурном строении, установить их природу.

Второй этап—количественная интерпретация или решение обратной задачи магниторазведки—имеет целью определение количественных параметров разведываемых геологических объектов. В целом подход к геологической интерпретации магнитных аномалий с учетом отмеченных особенностей тот же, что и в гравиразведке.

Области применения магниторазведки

Магниторазведку применяют для проведения общей магнитной съемки всей Земли и палеомагнитных исследований; решения задач региональной структурной геологии; геологического картирования разных масштабов; поисков и разведки полезных ископаемых; изучения геолого-геофизических особенностей и трещиноватости пород.

Условия эффективного применения магниторазведки. Благоприятными условиями для применения магниторазведки являются следующие.

1. Наличие горизонтальных магнитных неоднородностей, т. е. изменение намагниченности горных пород в горизонтальном направлении, происходящее на вертикальных или субвертикальных боковых границах геологических структур.

2. Достаточная обоснованность (теоретически, на основе априорных данных или экспериментально, т. е. с помощью опытных работ или изучения материалов ранее проводимых магнитных съемок) возможности решения

поставленных геологических задач имеющейся аппаратурой и рациональной системой наблюдения.

3. Превышение в 3 — 5 раз амплитуды аномалий уровня аппаратурнометодических погрешностей.

4. Наличие дополнительной геолого-геофизической и петрофизической (магнитометрической) информации о структурах для проведения более однозначной интерпретации.

4. Состав оборудования и описание работы морского магнитометра

Морской магнитометр MariMag 300m предназначен для высокоточного измерения полного вектора геомагнитного поля при проведении геофизических, геотехнических и поисковых работ на акватории.

Технические характеристики, параметры и габариты

Таблица 1. Технические характеристики, параметры и габариты

Наименование	Значение
Магнитометр	
Диапазон	18 000 ÷ 120 000 нТл
Абсолютная погрешность	0.1 нТл
Медианная чувствительность в рабочем диапазоне	СКО до 0.01 нТл в цикле 3 с
Разрешение	0.001 нТл
Ориентационная погрешность	0.1 нТл (при перевороте на 180°)
Градиентоустойчивость	до 30 000 нТл/м
Цикличность измерений	до 0.2 сек
Интерфейс связи с ПК	Ethernet
Питание	15 ÷ 30 VDC или 100 ÷ 240 VAC
Габариты (длина /диаметр)	1 680 / 120 мм
Вес в воздухе	13 кг
Встроенные датчики	ИНС, 3С компас, датчики давления, протечки, влажности, температуры, напряжения и потребляемого тока
Время работы от АКБ	8 часов
Условия эксплуатации	
Рабочая температура	-20 ÷ +60 °С
Температура хранения	-40 ÷ +70 °С
Максимальная рабочая глубина	300, 1 000 или 3 000 м
Буксировочный кабель	
Тип	витая пара
Прочность на разрыв	2 500 кг
Внешний диаметр	13 мм – стандартный / 20 мм – плавающий
Вес в воздухе	125 г/м – стандартный / 250 г/м – плавающий
Вес в воде	46 г/м – стандартный / -20 г/м – плавающий

Комплектность

В состав входят следующие комплектующие:

- магнитометр MariMag;
- груз с хомутом;
- бортовой регистратор с встроенным ГНСС приёмником;
- аккумуляторный источник питания;
- кабель питания;
- зарядное устройство;
- блок питания 100 ÷ 240 VAC;

- кабель Ethernet;
- палубный кабель;
- буксировочный кабель на катушке;
- переходник;
- ПО для управления и сбора данных;
- транспортировочный кейс;
- свидетельство о калибровке;
- техническая документация;
- ЗИП.



Рисунок 1 – Морской магнитометр MariMag

Транспортировка морского магнитометра MariMag осуществляется в герметичных, ударопрочных пластиковых корпусах.

Устройство и работа

Принцип действия

Для измерения геомагнитного поля в магнитометре используется явление свободной прецессии протонов предварительно поляризованного рабочего вещества в магнитном поле Земли (МПЗ). При этом поляризация ядер усиливается с помощью эффекта Оверхаузера (динамическая поляризация ядер).

Эффект Оверхаузера — это явление, использующее электрон-протонное взаимодействие для достижения поляризации протонов. Для реализации данного эффекта в магнитометре используется специально разработанное соединение, в составе которого имеется свободнорадикальный атом (атом с несвязанным электроном), которое добавляется к богатой протонами жидкости. Несвязанные электроны в растворе могут быть легко возбуждены воздействием высокочастотного радиочастотного излучения, что соответствует переходу между энергетическими уровнями. Вместо того, чтобы повторно высвобождать эту энергию в виде испускаемого излучения,

несвязанные электроны передают ее соседним протонам, что позволяет поляризовать эти протоны без необходимости создания искусственного магнитного поля большой величины. Поэтому такие датчики могут генерировать сигналы большой амплитуды с высоким соотношением сигнал-шум, при потребляемой мощности всего в несколько Ватт. Стандартные же протонные датчики не могут генерировать сигналы такой величины и такого качества даже при потреблении нескольких сотен Ватт.

Цикл измерения

Каждый цикл измерения принципиально состоит из двух тактов:

1. Поляризация — на рабочее вещество первичного преобразователя (ПП) воздействуют постоянное и высокочастотное магнитные поля так, что оси вращения протонов разворачиваются преимущественно перпендикулярно вектору индукции магнитного поля Земли.

2. Измерение — поле поляризации выключается и начинается свободная прецессия протонов вокруг вектора магнитного поля Земли. В НЧ-катушках ПП возникает ЭДС в форме затухающей синусоиды, частота которой пропорциональна индукции магнитного поля Земли:

$$F = \frac{T}{\gamma};$$

где F — частота сигнала прецессии,

T — индукция магнитного поля,

$\gamma = 23,487189 \frac{\text{нТл}}{\text{Гц}}$ — гиромагнитное отношение протона.

Описание и работа составных частей прибора



Рисунок 2 – Комплектация морского магнитометра MariMag

- 1 - палубная катушка со скользящим контактом
- 2 - буксировочный кабель
- 3 - магнитометр MariMag
- 4 - груз с хомутом
- 5 - транспортировочный ящик
- 6 - зарядное устройство
- 7 - кабель Ethernet
- 8 - бортовой регистратор со встроенным ГНСС приёмником
- 9 - кабель питания
- 10 - переходник
- 11 - палубный кабель
- 12 - аккумуляторный источник питания
- 13 - блок питания 100 ÷ 240 VAC

Магнитометр MariMag

Служит для непосредственного измерения модуля геомагнитного поля и предназначен для получения сигнала свободной прецессии протонов рабочего вещества, помещённого в измеряемое магнитное поле. Магнитометр содержит стеклянную ампулу с рабочим веществом, размещённую в высокочастотном контуре (ВЧ-контуре), поверх которого намотаны НЧ-катушки, предназначенные для регистрации сигнала прецессии.

Груз с хомутом служит для заглубления магнитометра на необходимую глубину.

Бортовой регистратор со встроенным ГНСС приёмником служит для обмена информацией между магнитометром и ПК. Встроенный ГНСС приёмник служит для получения сигнала ГНСС с целью определения текущего местоположения устройства.

Аккумуляторный источник питания служит для питания электронных узлов магнитометра. В качестве источника питания используется свинцово-кислотная аккумуляторная батарея напряжением 24 В и ёмкостью 9 А·ч.

Кабель питания служит для подключения аккумуляторного источника питания к бортовому регистратору.

Зарядное устройство служит для заряда аккумуляторного источника питания от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Блок питания 100 ÷ 240 VAC служит для питания электронных узлов магнитометра от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Кабель Ethernet служит для подключения бортового регистратора к ПК.

Буксировочный кабель служит для непосредственной буксировки магнитометра и передачи данных между магнитометром и бортовым регистратором.

Палубный кабель служит для удлинения буксировочного кабеля на палубной части судна или соединения палубной катушки с бортовым регистратором.

Переходник служит для соединения буксировочного и палубного кабелей при работе без катушки.

Палубная катушка со скользящим контактом служит для смотки/намотки буксировочного кабеля, обеспечивая удобство работы.

ПО для управления и сбора данных служит для управления и сбора данных морского магнитометра. ПО позволяет контролировать все параметры магнитометра, графически отображать получаемые данные и географически представлять движения судна и магнитометра на карте местности.

Транспортировочный кейс служит для хранения и транспортировки составных частей прибора.

Эксплуатационные ограничения

Морской магнитометр MariMag предназначен для эксплуатации в полевых условиях при температуре окружающей среды от -20 до +50 °С.

Необходимо избегать резких колебаний температур, способных вызвать образование конденсата.

MariMag является высокоточным прибором и требует бережного обращения. При работе с прибором следует избегать падений и ударов.

5. Порядок проведения исследовательских работ с использованием морского магнитометра и программного обеспечения

Подготовка к использованию

Порядок и последовательность действий по подготовке прибора к использованию

1. Провести внешний осмотр всех частей прибора и убедиться:

- в соответствии комплектности магнитометра руководству по эксплуатации в объеме, необходимом для проведения работ;
- в отсутствии механических повреждений на блоках магнитометра;
- в отсутствии механических повреждений на соединительных кабелях и разъёмах;
- в отсутствии загрязнения разъёмов и палубных частей прибора.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ЭКСПЛУАТИРОВАТЬ МАГНИТОМЕТР ПРИ НАЛИЧИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ, А ТАКЖЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ РАЗЪЕМОВ И ПАЛУБНЫХ ЧАСТЕЙ ПРИБОРА.

2. При необходимости произвести подзарядку аккумулятора.

3. При необходимости установить груз на магнитометр.

ВАЖНО! При установке груза сориентируйте его относительно гондолы магнитометра таким образом, чтобы отверстие датчика давления смотрело вниз и было соосно грузу на хомуте (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Магнитометр с установленным грузом

4. Буксировочный кабель к разъему магнитометра.



Рисунок 4 – Буксировочный кабель, подключенный к разъему магнитометра

5. Подключить палубный кабель к соответствующему разъёму палубной катушки.



Рисунок 5 – Разъём для подключения палубного кабеля на катушке



Рисунок 6 – Палубный кабель

При работе без катушки соединение палубного и буксировочного кабелей осуществляется при помощи соединителя.



Рисунок 7 – Соединитель палубного и буксировочного кабелей

6. Подключить палубный кабель к соответствующему разъёму палубного блока.



Рисунок 8 – Разъём для подключения палубного кабеля на палубном блоке



Рисунок 9 – Палубный кабель

7. Подключить источник питания к соответствующему разъёму палубного блока. В качестве источника питания может быть использован блок питания 100 ÷ 240 VAC или аккумуляторный источник питания 24 VDC с кабелем питания.

В случае использования блока питания 100 ÷ 240 VAC подключить его к соответствующему разъёму палубного блока и подключить его к сети переменного тока 220 В.



Рисунок 10 – Разъём для подключения источника питания на палубном блоке



Рисунок 11 – Блок питания 100 ÷ 240 VAC

В случае использования аккумуляторного источника питания подключить его к соответствующему разъёму палубного блока при помощи кабеля питания.



Рисунок 12 – Аккумуляторный источник



Рисунок 13 – Кабель питания

8. Подключить кабель Ethernet к соответствующему разъёму палубного блока.



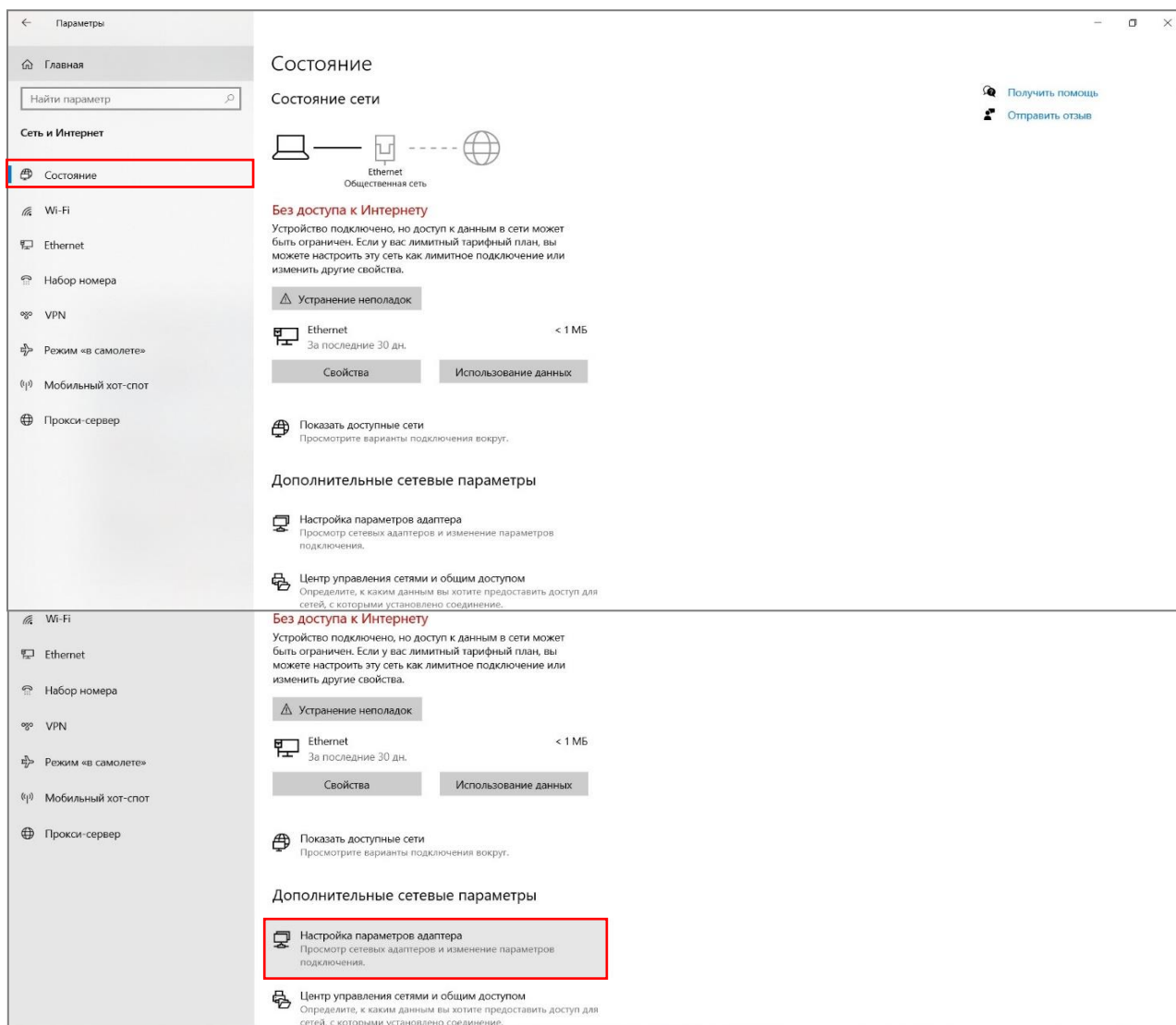
Рисунок 14 – Разъём для подключения кабеля Ethernet на палубном блоке



Рисунок 15 – Кабель Ethernet

Порядок и последовательность действий по подготовке ПО к использованию

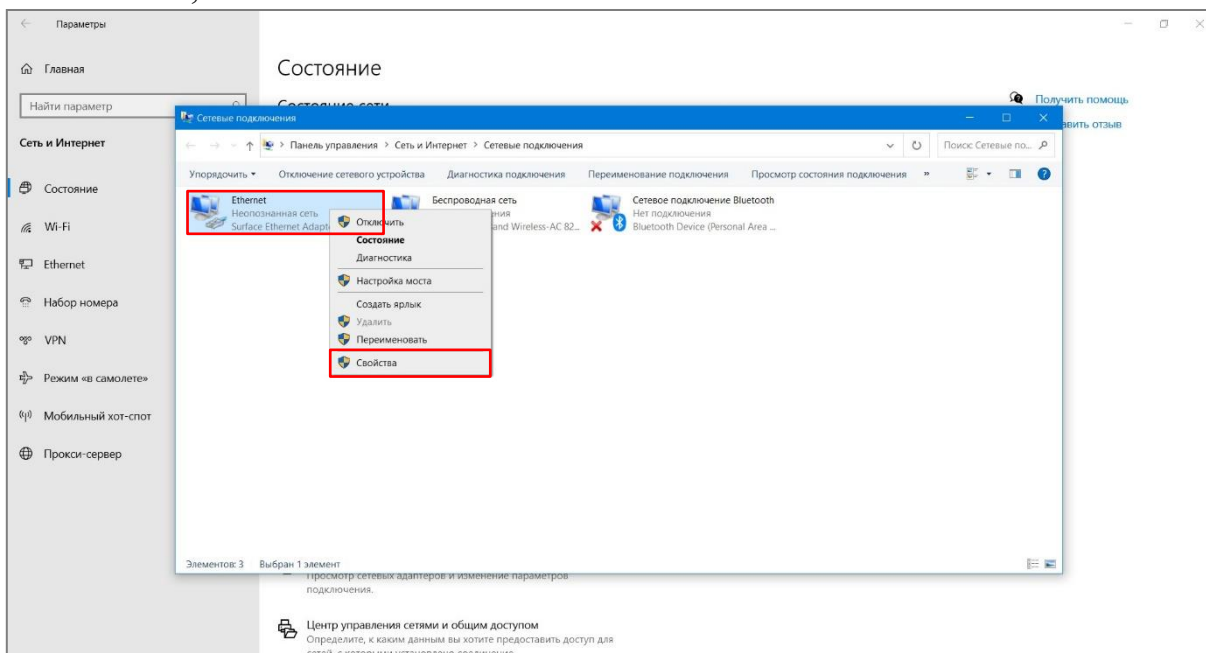
1. Включите компьютер (для корректной работы необходим ПК с ОС Windows 10) и подключите к нему кабелем Ethernet бортовой регистратор.
2. Установите настройки сети Ethernet вручную, для этого:
Нажмите на поле «Состояние» в разделе «Сеть и Интернет» в левом боковом меню параметров сети;



Выберите «Настройки параметров адаптера»;

Рисунок 17 – Выбор «Настроек параметров адаптера»

Нажмите правой кнопкой мыши на неопознанную сеть и выберите «Свойства»;



Выберите версию протокола «IP версии 4 (TCP/IPv4)» и нажмите «Свойства»;

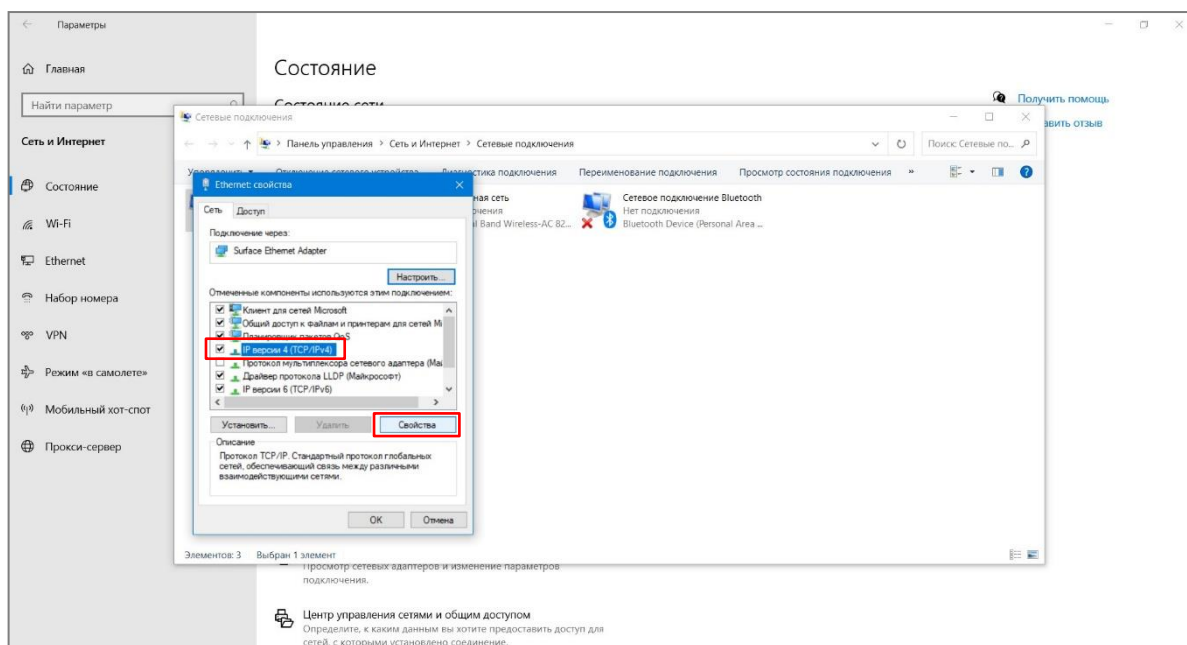
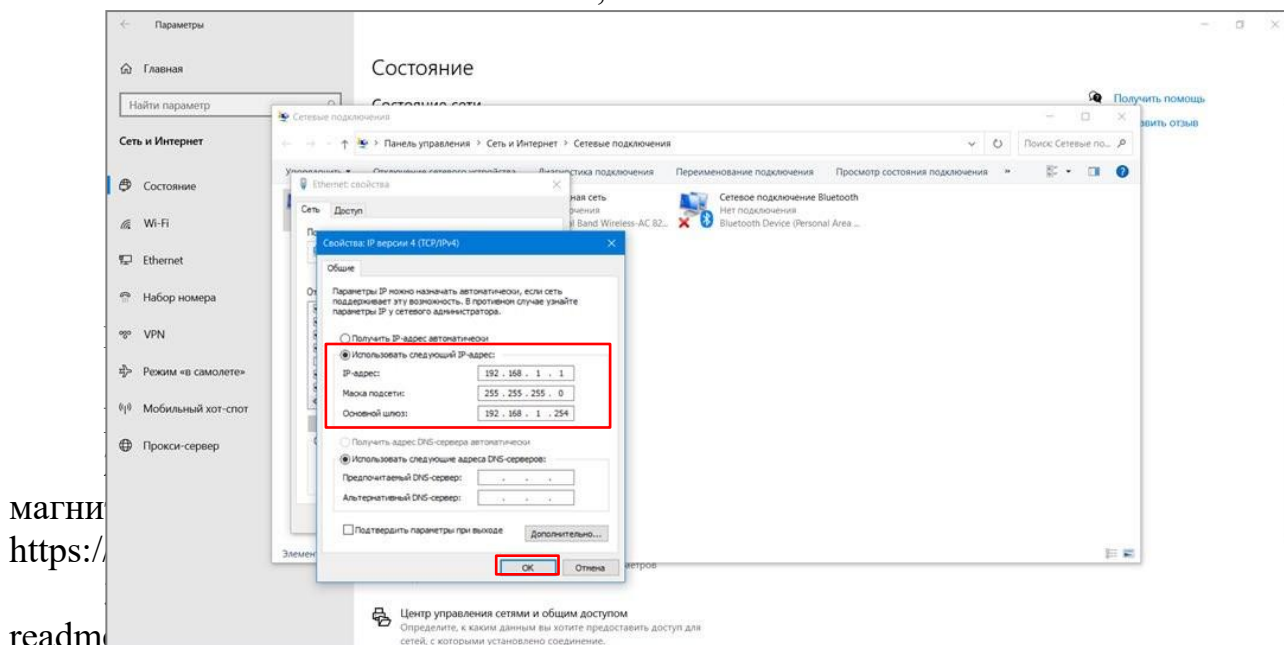


Рисунок 19 – Выбор версии протокола «IP версии 4 (TCP/IPv4)» и его «Свойств»

Нажмите «Использовать следующий IP-адрес» и введите в поле
IP-адрес: 192.168.1.1,
Маска подсети: 255.255.255.0,
Основной шлюз: 192.168.1.254;

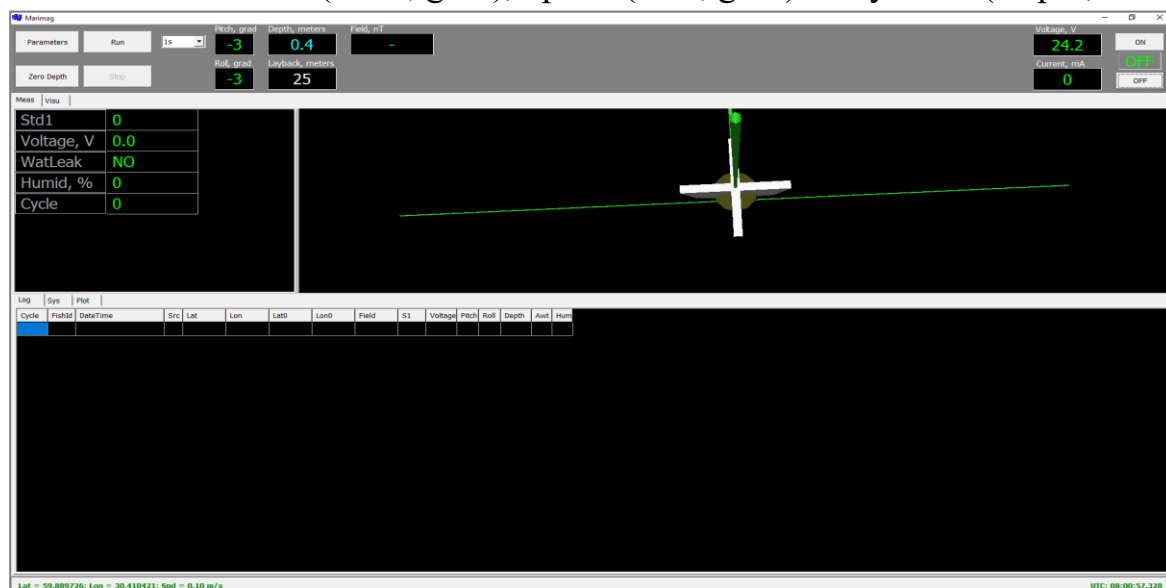


магнит
https://
readm

Использование
Запустите ПО для сбора и визуализации данных.

После запуска появится окно программы сбора и визуализации данных sw_marimag2.exe (Рисунок 21), окно сервера данных GNSS navi.exe (Рисунок 22) и карта проектирования съемки MapView.exe (Рисунок 23).

В верхней части главного окна программы сбора будут обновляться показания тангажа (Pitch, grad), крена (Roll, grad) и глубины (Depth, meters).



В средней части главного окна программы сбора будет обновляться визуализация пространственного положения магнитометра.

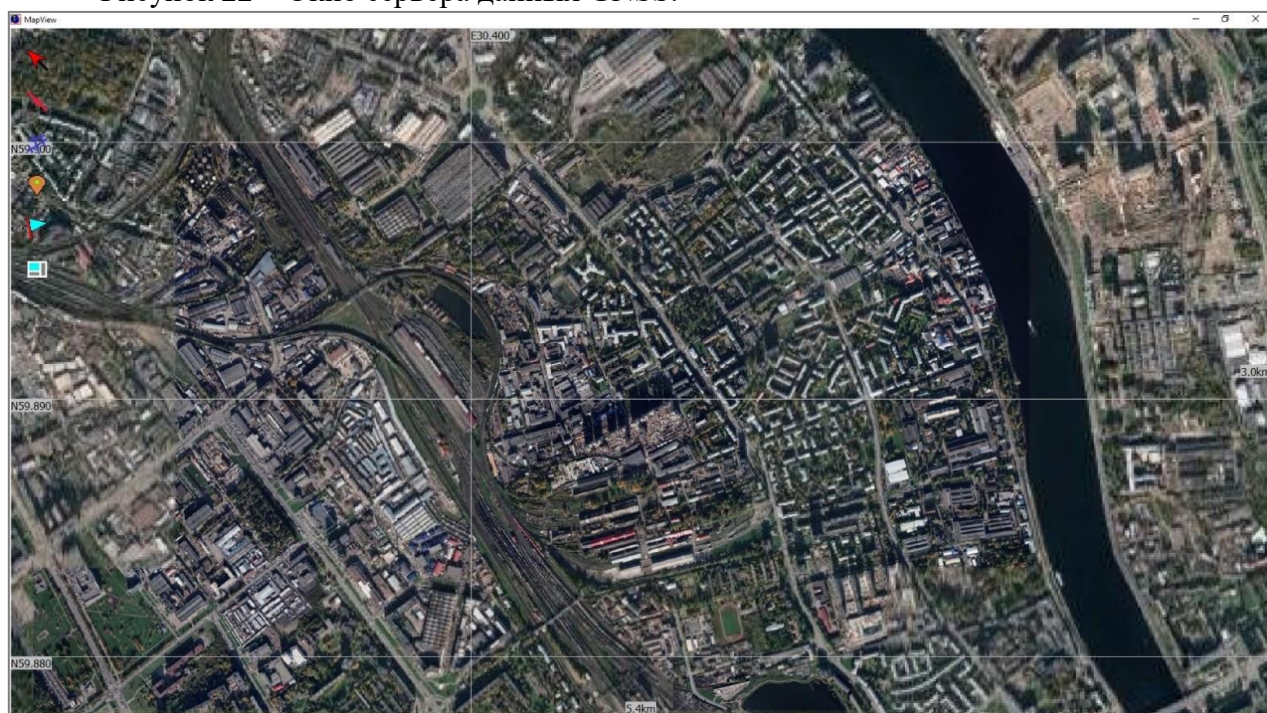
Рисунок 21 – Главное окно программы сбора и визуализации данных

The screenshot shows the 'NAVI Connector' application window. It has a title bar 'NAVI Connector' and a menu bar with 'Navi', 'Clients', and 'Info'. The main area displays a table titled 'NAVI Device List' with the following data:

Fix	Code	Name	Connection	Type	Status	Sats	HDOP	VDOP	PDOP	DateTime	Lat	Lon	Angle	Speed	Activity
E	100	MARIMAG	UDP192.168.1.11:2021	Udp	Ok	6/0	100.0	100.0	100.0	-	-	-	0	0	285

The status bar at the bottom shows 'Output Directory: c:\MariMag\Data\' and 'Ver1.3'.

Рисунок 22 – Окно сервера данных GNSS.



Программа сбора и визуализации данных

Задание названия съемки и выбор директории хранения данных

Для задания названия съемки и выбора директории хранения данных нажмите кнопку «Parameters» в главном окне программы (Рисунок 21). При этом откроется окно (Рисунок 24) с возможностью указания директории хранения данных (Save Path), ввода названия съемки (Title), местоположения съемки (Origin), названия организации (Surveyor) и дополнительных комментариев (Comments).

Для задания директории хранения данных нажмите на кнопку «...», после чего откроется окно (Рисунок 25), в котором можно выбрать необходимую папку, после чего необходимо нажать кнопку «Ок».

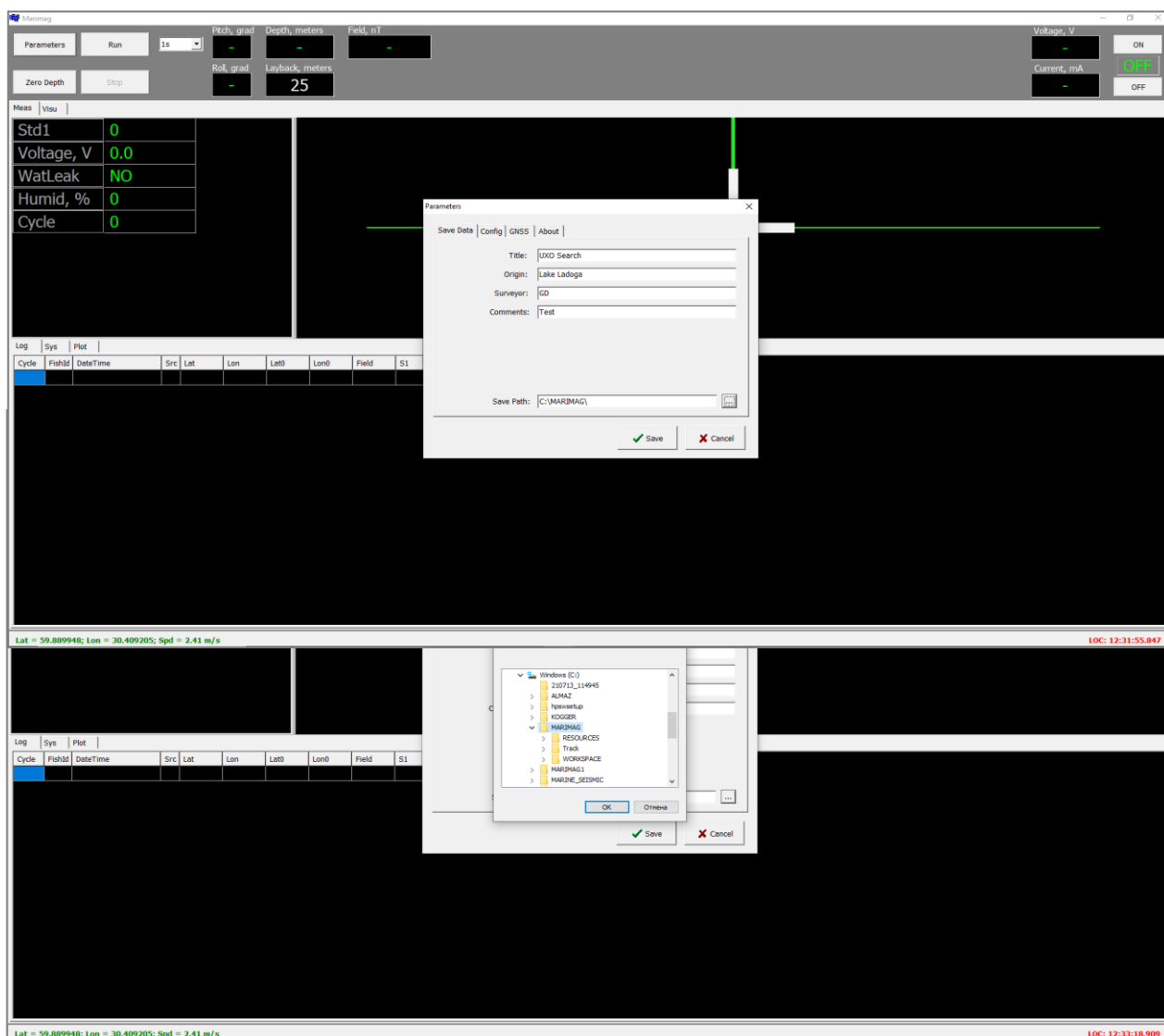


Рисунок 25 – Окно выбора директории хранения данных

Задание конфигурации прибора

Для задания названия съемки и выбора директории хранения данных нажмите кнопку

«Parameters» в главном окне программы (Рисунок 21). При этом откроется окно (Рисунок 24), в котором необходимо выбрать вкладку «Config» (Рисунок 26) с возможностью выбора типа прибора (одиночный магнитометр, продольный градиентометр или поперечный градиентометр) (Рисунок 27), задания выноса прибора относительно катушки или точки буксировки в метрах (Layback), задания базы градиентометра в сантиметрах (Gradientometer Base) (по умолчанию база поперечного градиентометра – 150 см), а также расстояния между положением ГНСС приемника и катушкой/точкой буксировки (GNSS receiver offset).

Для более точного расчета положения судна и прибора на карте (Рисунок 23), а также более точного расчета скорости буксировки в данной вкладке необходимо задать длину скользящего окна расчета скорости в секундах (Boat Velocity Calculate), а также прогнозируемую среднюю скорость буксировки в м/с (Boat Velocity Average).

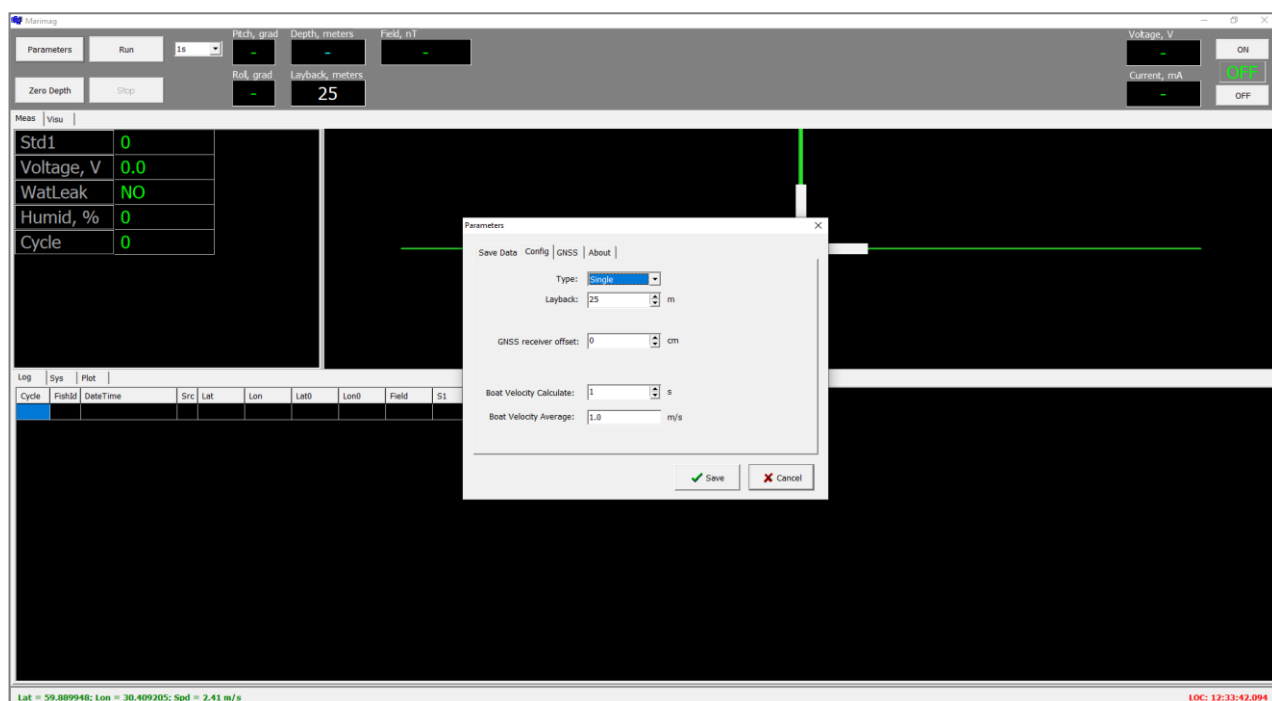
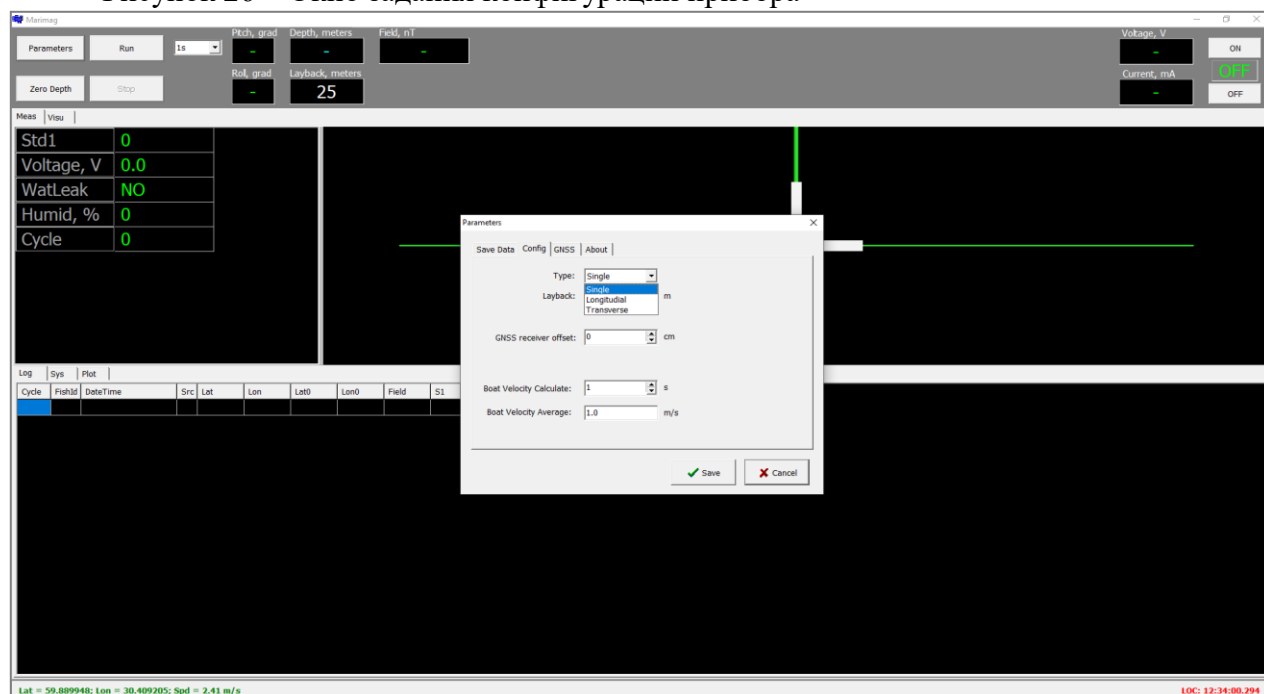


Рисунок 26 – Окно задания конфигурации прибора



Для выбора ГНСС приемника нажмите кнопку «Parameters» в главном окне программы (Рисунок 21). При этом откроется окно (Рисунок 24), в котором необходимо выбрать вкладку «GNSS» (Рисунок 28) с возможностью выбора приемника (внутреннего (Internal) или внешнего (External)) (Рисунок 29).

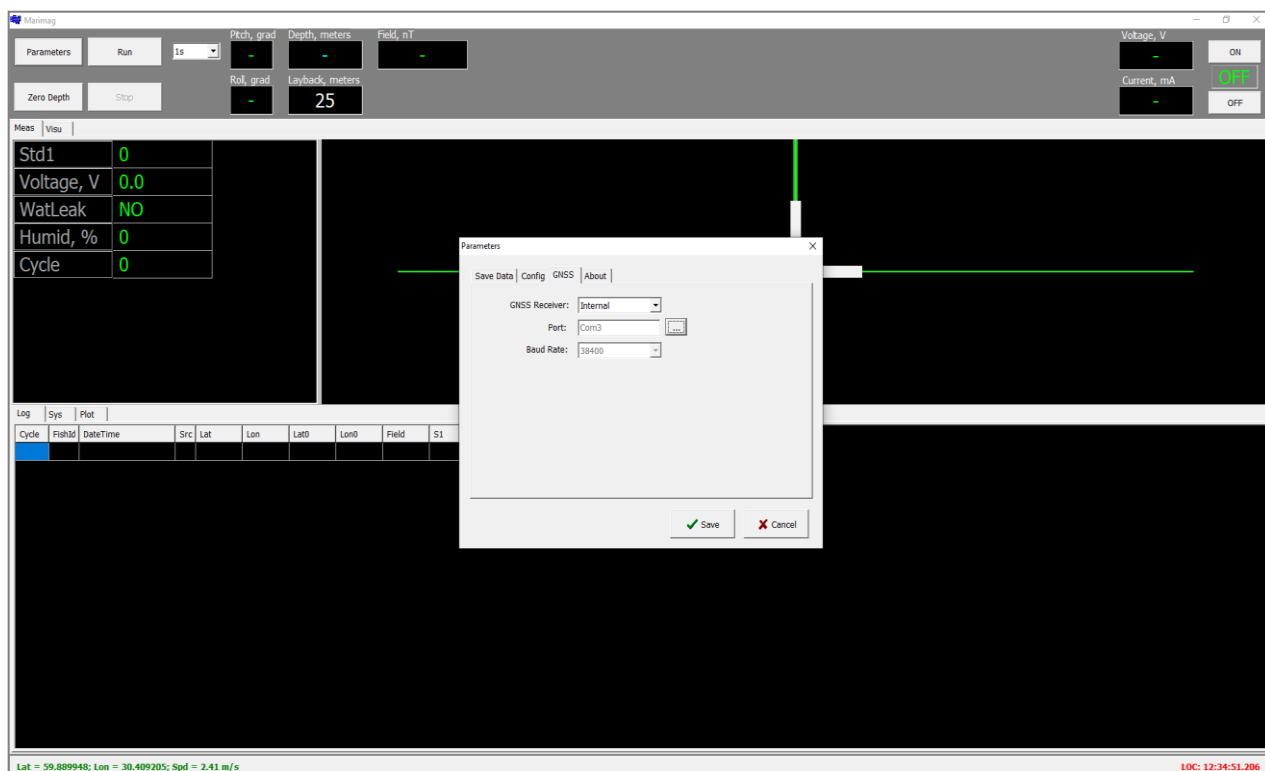


Рисунок 28 – Окно выбора ГНСС приемника

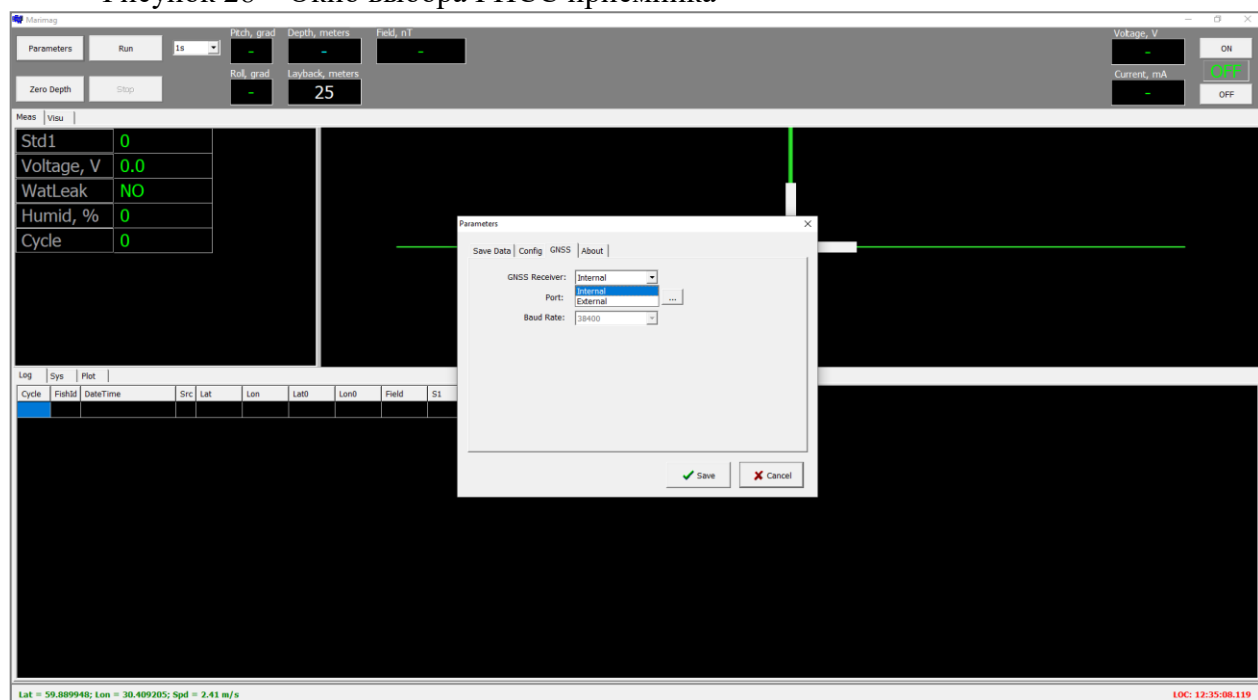


Рисунок 29 – Выбор ГНСС приемника При использовании внутреннего ГНСС приемника выберите «Internal». При использовании внешнего ГНСС приемника выберите «External» (Рисунок 30), после чего выберите порт подключения (Рисунок 31) и скорость передачи данных (Рисунок 32). Для выбора порта нажмите на кнопку «...», после чего откроется окно (Рисунок 31), в котором можно выбрать необходимый порт, после чего необходимо нажать кнопку «Apply».

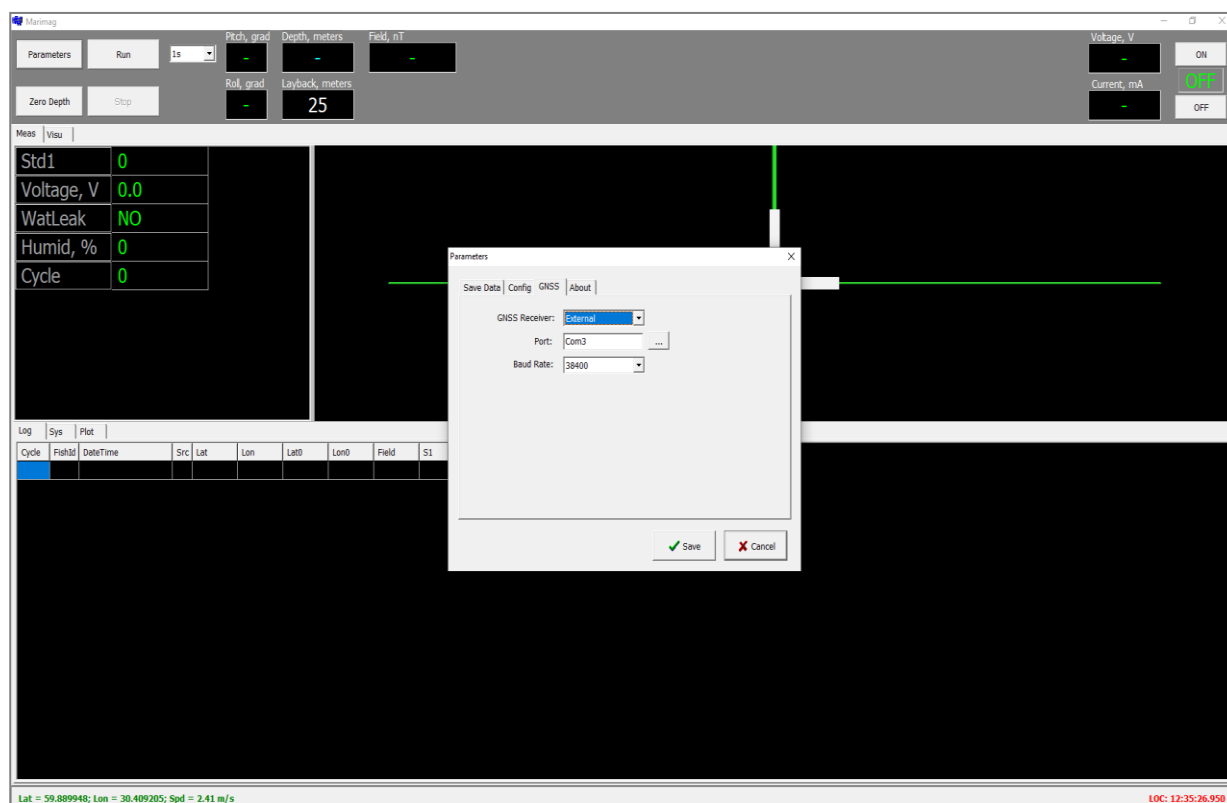
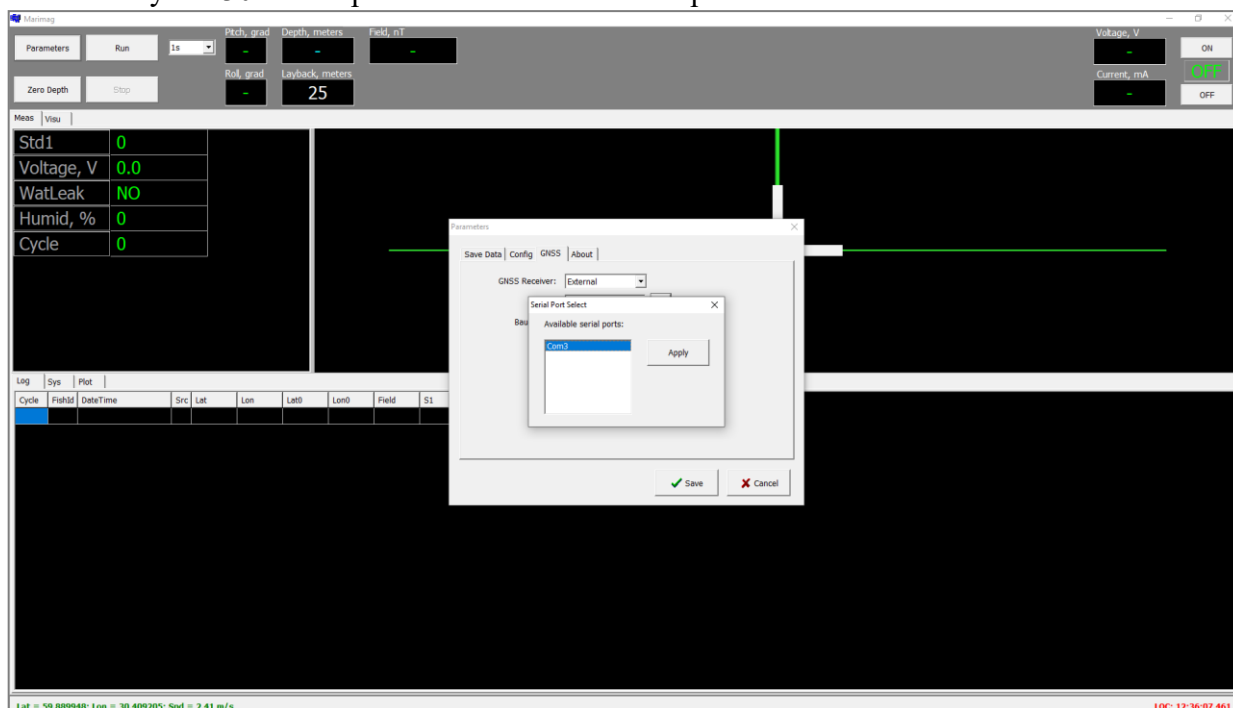


Рисунок 30 – Настройки внешнего ГНСС приемника



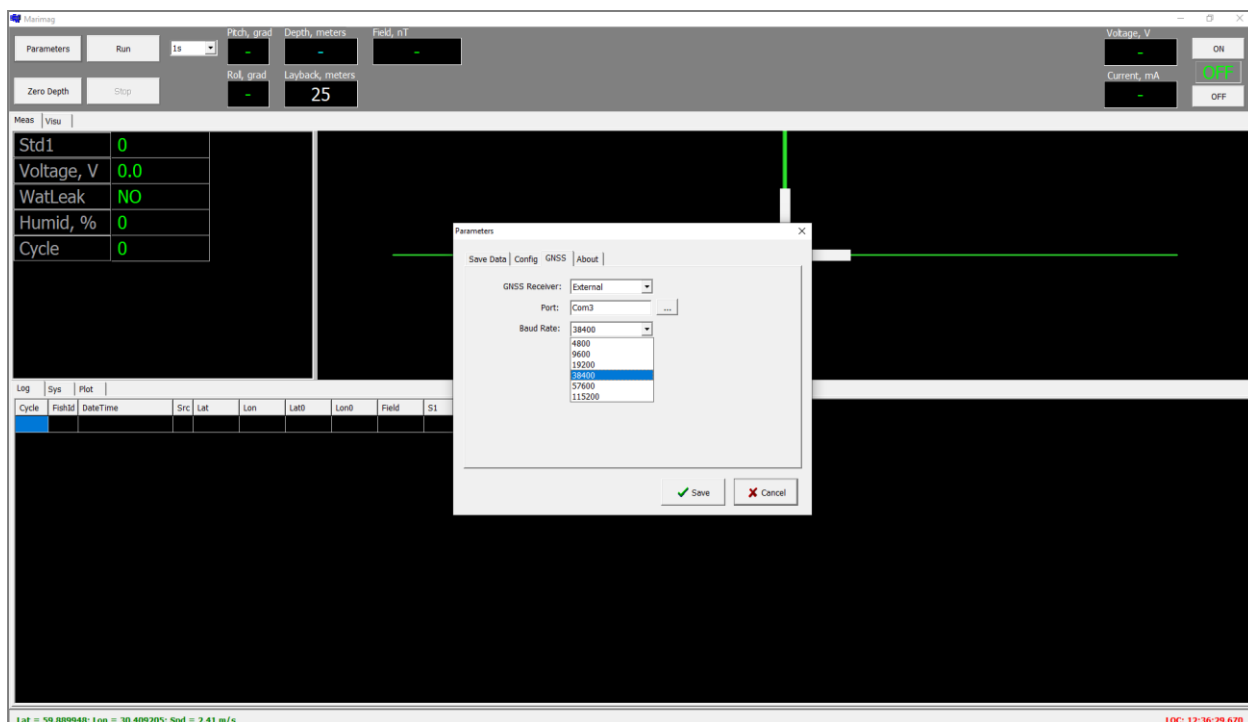
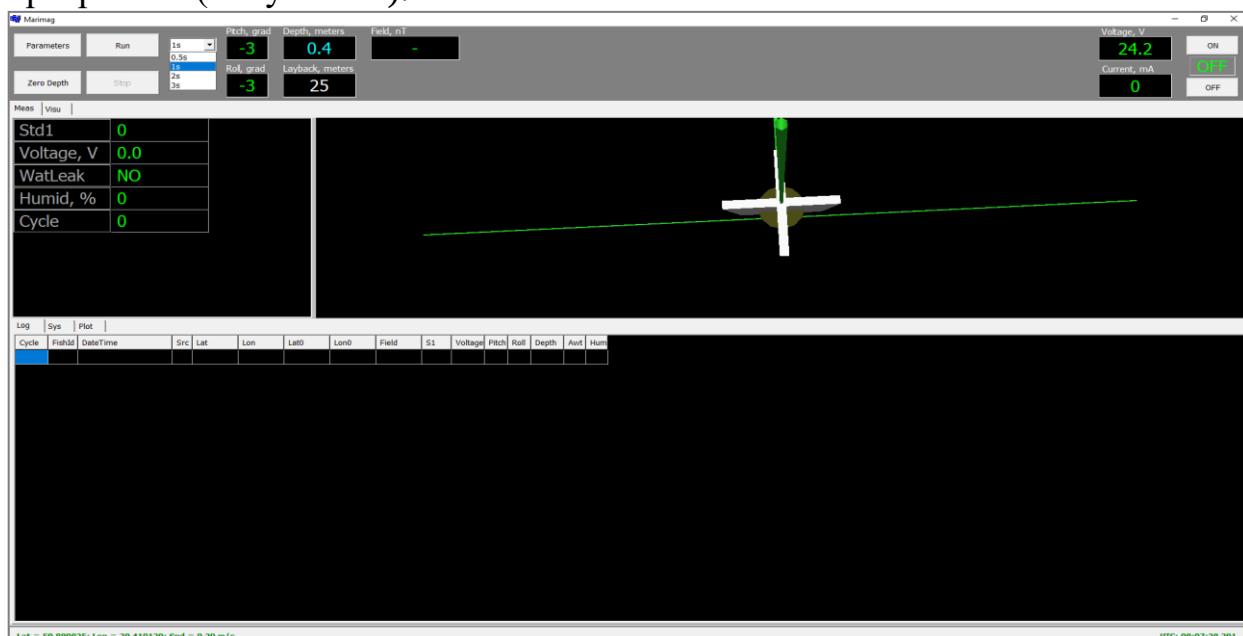


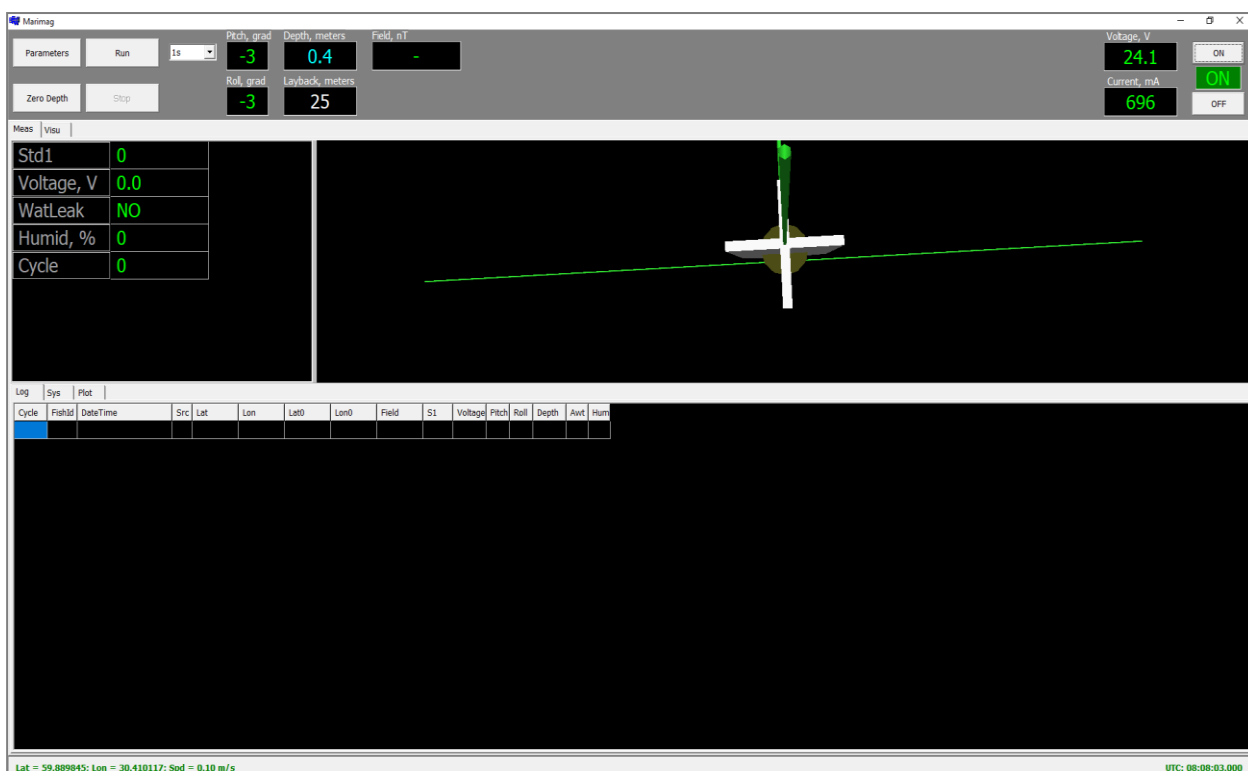
Рисунок 32 – Выбор скорости передачи данных внешнего ГНСС приемника

Выбор цикла измерений

Магнитометр имеет несколько циклов измерений: 0.5 с (2 Гц), 1 с (1 Гц), 2 с (0.5 Гц), 3 с (0.33 Гц) и 5 с (0.2 Гц). Для выбора цикла измерений необходимо кликнуть на список (Рисунок 33) в верхней части главного окна программы (Рисунок 21).



Для подключения магнитометра нажмите кнопку «ON» (Рисунок 34) в правой верхней части главного окна программы (Рисунок 21). При этом в



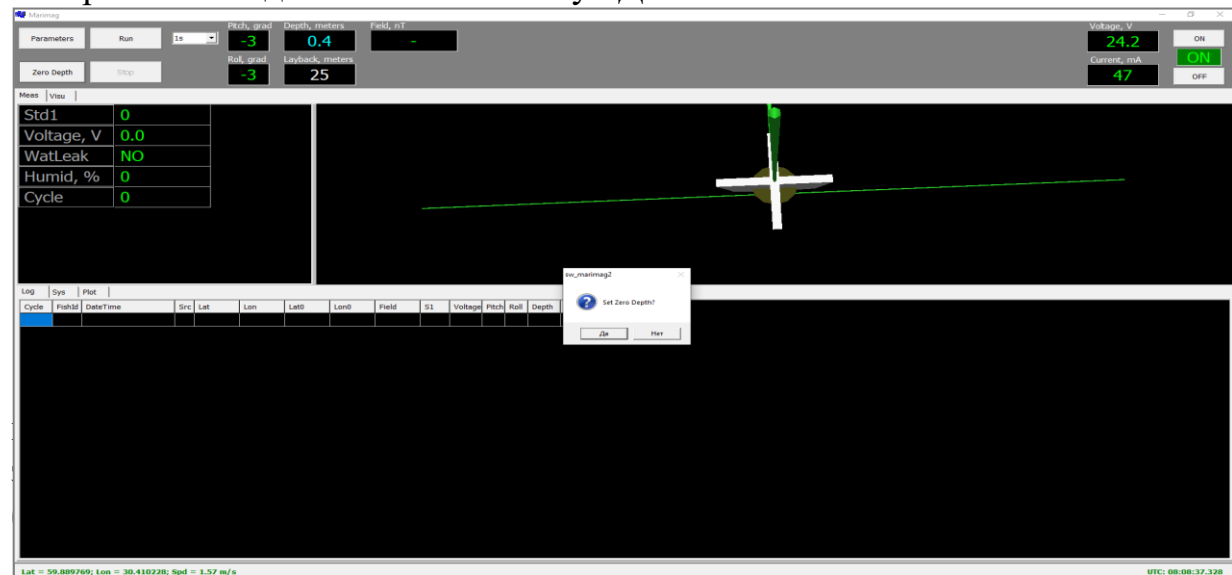
светящемся поле загорится «ON», а в соседних полях обновятся показания напряжения (Voltage, V) и тока (Current, A) на входе прибора.

Рисунок 34 – Окно подключения магнитометра

Обнуление датчика давления

ПО имеет возможность обнулить показания датчика давления (Depth, meters) в случае некорректного отображения данных. Для этого опустите магнитометр на поверхность воды так, чтобы отверстия датчиков давления (Рисунок 3) находились в воде, и нажмите кнопку «Zero Depth» в верхней части главного окна программы (Рисунок 21).

После нажатия появится подтверждающее окно (Рисунок 35), в котором необходимо нажать кнопку «Да».



в нТл (Field, nT), среднеквадратической погрешностью по одному измерению (Std1, pT), напряжения на входе в гондолу магнитометра (Voltage, V), тангажа (Pitch, grad), крена (Roll, grad), глубины (Depth, M), протечки (WatLeak), влажности (Humid, %) и номера цикла измерения (Cycle), а на вкладке «Log» начнет формироваться таблица с данными измерений (Рисунок 36).

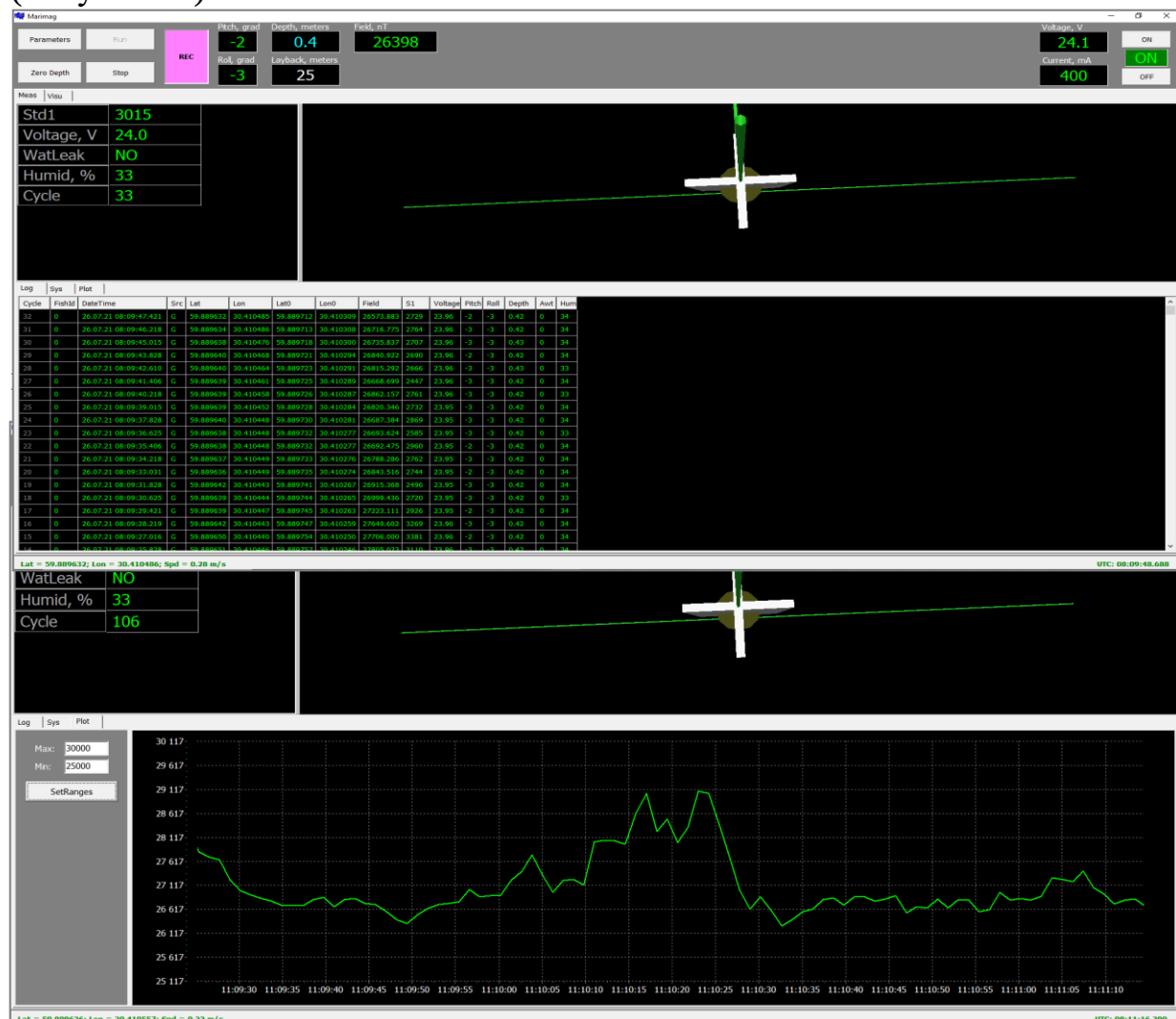


Рисунок 37 – Окно с графиком измеренного значения поля

Для перехода к окну с графиком измеренного значения поля для каждого магнитометра необходимо в главном окне программы (Рисунок 21) открыть вкладку «Plot» (Рисунок 37).

Значение измеренного поля в нТл отображается по вертикальной оси, а время измерения — по горизонтальной оси.

В левой части окна (Рисунок 37) есть меню для работы с графиком, в котором можно установить диапазон отображаемых значений поля. Для этого нужно ввести максимальное значение поля (Max), минимальное значение поля (Min) и нажать кнопку «SetRanges».

Чтобы осуществить непрерывное изменение масштаба графика, удерживайте левую кнопку мыши зажатой на графике и настройте необходимый размер окна масштабирования путем перемещения мыши

вправо. Для установки первоначального масштаба графика необходимо удерживая левую кнопку мыши зажатой переместить ее влево.

Окно визуализации пространственного положения магнитометра

Для перехода к окну визуализации пространственного положения магнитометра необходимо в главном окне программы (Рисунок 21) открыть вкладку «Visu» (Рисунок 38).

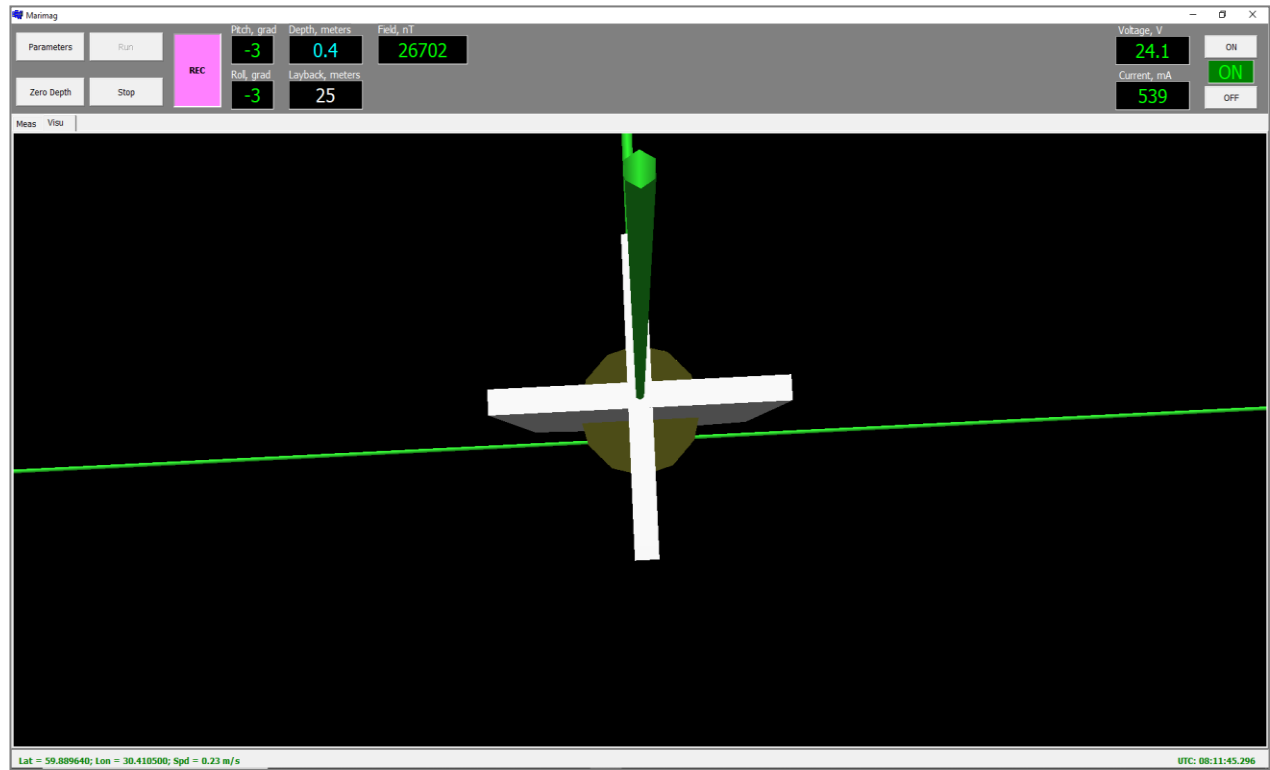
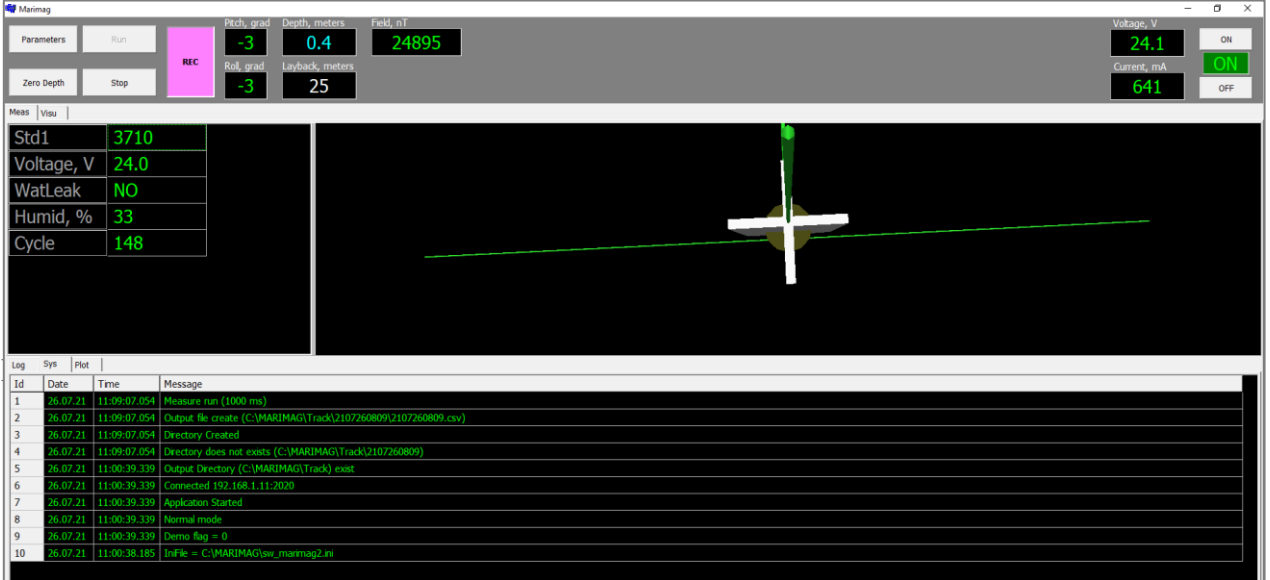


Рисунок 38 – Окно с визуализацией пространственного положения магнитометра

Окно протокола работы

Для перехода к окну протокола работы необходимо в главном окне программы (Рисунок 21) открыть вкладку «Sys» (Рисунок 39).



Окончание измерений

Для окончания измерений следует нажать кнопку «Stop» в главном окне программы (Рисунок 21), после чего эта кнопка станет неактивной и магнитометр автоматически завершит измерения.

Результаты измерений сохраняются в выбранной директории в виде текстового файла, содержащего несколько столбцов, разделенных табуляцией. Данные представляются шестнадцатью колонками: FishId – идентификатор рыбы; DateTime – время и дата; Src – флаг времени (G – время от ГНСС приемника, L – время компьютера); Lat – широта с ГНСС приемника; Lon – долгота с ГНСС приемника; FLat – рассчитываемая широта магнитометра; FLon – рассчитываемая долгота магнитометра; Field – значение измеренного поля в нТл; S1 – среднеквадратическая погрешность по одному измерению; Voltage – напряжение; Pitch – тангаж; Roll – крен; Depth – глубина; Awt – значение датчика протечки; Cycle – номер цикла измерения.

Программа проектирования съемки

Модуль карты предназначен для создания сети наблюдений, навигации и выставления меток.

Окно модуля карты включает в себя несколько функциональных областей: панель кнопок, менеджер объектов, менеджер свойств и поле карты. Панель кнопок, менеджер объектов и менеджер свойств могут быть скрыты или отображены по желанию пользователя, для этого нужно нажать правую кнопку мыши в поле карты, а затем нажать соответствующие пункты меню «Buttons Panel» / «Panel Bottom» / «Panel Right».

Описание основных кнопок и полей окна модуля карты представлено на рисунке 40.

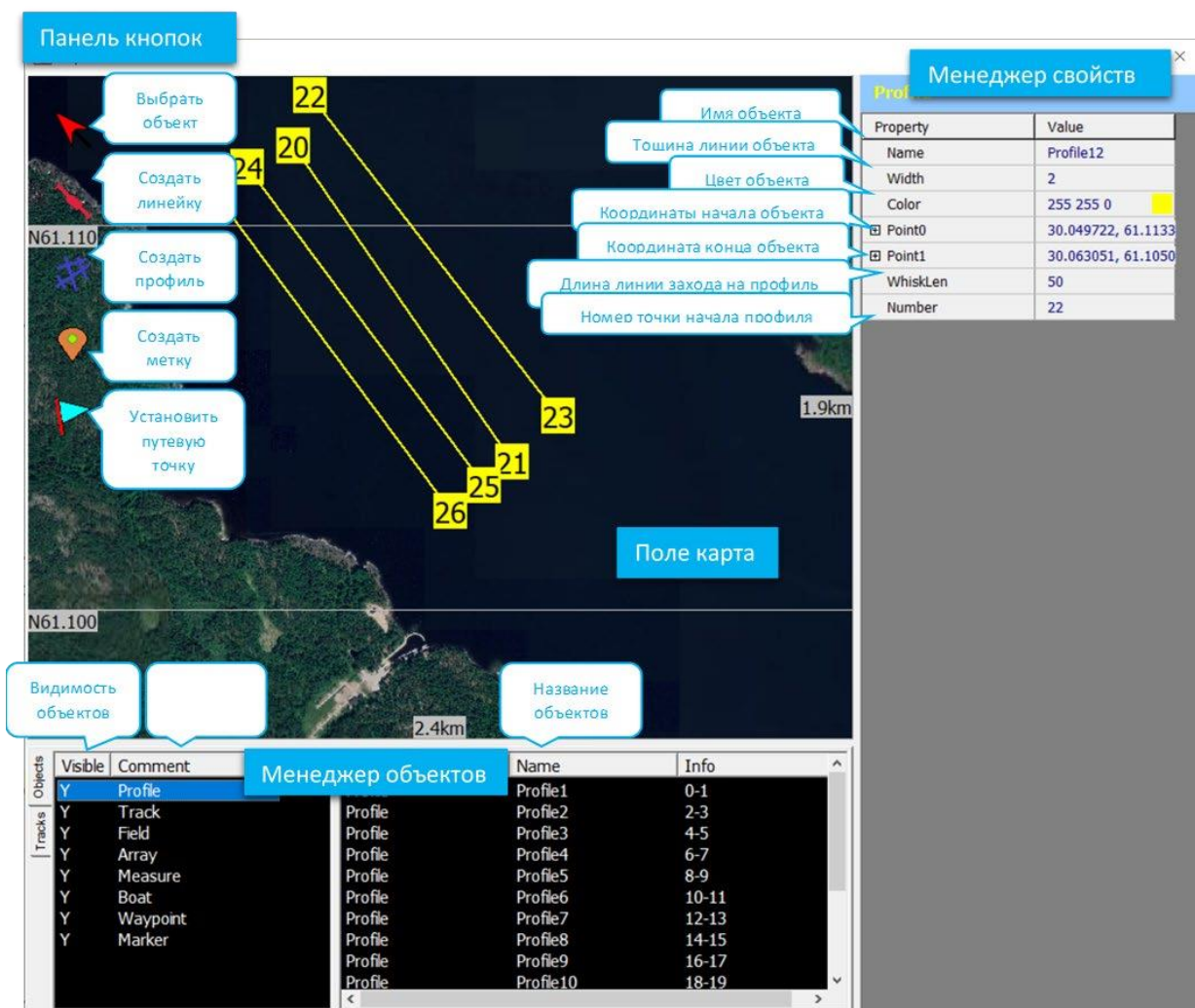


Рисунок 40 – Окно модуля карты

Зумирование и перемещение по карте

Зумировать карту можно несколькими способами:

1. Использовать колесико мыши.
2. Использовать меню под правой кнопкой мыши. Для этого нужно нажать правой кнопкой мыши в поле карты, а затем выбрать пункты меню «Zoom plus» / «Zoom Minus».
3. Использовать горячие клавиши F1 / F2.

Масштаб карты можно отслеживать по значениям справа и внизу поля карты. Значения показывают сколько в метрах составляет вертикальная и горизонтальная сторона поля карты соответственно.

Перемещение по карте можно осуществлять несколькими способами:

1. Использовать мышь. Зажав левую кнопку мыши, перетаскивать карту.
2. Использовать меню под правой кнопкой мыши. Для этого нужно нажать правой кнопкой мыши в поле карты, выбрать пункты меню «Move», а затем выбрать «Left» / «Right» / «Top» / «Bottom».

3. В менеджере объектов дважды нажать левой кнопкой мыши на интересующий объект, и автоматически отобразится область карты, вмещающая данный объект.

Загрузка карты, система координат и проекции

Загрузить карту можно несколькими способами:

1. Загрузить карту в формате KML. Для этого нужно нажать правой кнопкой мыши в поле карты, выбрать пункт меню «Load Map KML File», выбрать файл с расширением *.kml в Проводнике и нажать кнопку открыть.

2. Загрузить карту в виде растрового изображения. Для этого нужно нажать правой кнопкой мыши в поле карты, выбрать пункт меню «Import Map from Raster Bitmap», выбрать файл с расширением *.jpg/ *.jpeg / *.bmp / *.ico / *.emf / *.wmf в Проводнике и нажать кнопку открыть.

3. Загрузить спутниковые карты Google (необходимо подключение ПК к сети интернет). Для этого нужно в поле карты, зажав CTRL, нажать левую кнопку мыши. Для загрузки более детального изображения необходимо увеличить масштаб карты и повторить процедуру в поле карты, зажав CTRL, нажать левую кнопку мыши. Для отображения границ загружаемых листов необходимо нажать CTRL+T или нажать правой кнопкой мыши в поле карты и выбрать пункт меню «Tile Border».

В поле карты и в менеджере свойств используются координаты в градусах и долях градуса.

Карту можно отображать в следующих проекциях: WGS 84 и EPSG 3785.

Создание сети наблюдений

Создать сеть наблюдений можно несколькими способами:

1. Загрузить профили наблюдений в формате KML. Для этого нужно нажать правой кнопкой мыши в поле карты, выбрать пункт меню «Load Project KML File», выбрать файл с расширением *.kml в Проводнике и нажать кнопку открыть.

2. Загрузить точки начала профилей в формате KML и создать линии профилей на карте. Для этого нужно нажать правой кнопкой мыши в поле карты, выбрать пункт меню «Load Project KML File», выбрать файл с расширением *.kml в Проводнике и нажать кнопку открыть. Далее нажать на панели кнопок на иконку «Создать профиль», установить курсор на начало профиля, зажать левую кнопку мыши и протащить мышь с зажатой левой кнопкой до точки конца профиля.

3. Создать линии профилей на карте. Для этого нужно нажать на панели кнопок на иконку «Создать профиль», установить курсор на начало профиля, зажать левую кнопку мыши и протащить мышь с зажатой левой кнопкой до точки конца профиля.

Удаление объектов и дополнительные функции

Удалить объект на карте можно несколькими способами:

1. Выбрать объект с помощью иконки «Выбрать объект» и нажать SHIFT + Delete
2. Нажать правой кнопкой мыши в поле карты и выбрать пункт меню Delete.

Создать метку на карте можно несколькими способами:

1. Нажать на иконку «Создать метку», установить курсор в нужном положении и нажать левую кнопку мыши.
2. Установить курсор в нужном положении, нажать правой кнопкой мыши и выбрать пункт меню «Set Marker here».

Навигация по профилю

При осуществлении навигации с помощью модуля карта будут полезны следующие опции:

1. Для захода на профиль необходимо выставить в менеджере свойств профиля длину линии захода на профиль равную длине выноса магнитометра (Layback). Для этого необходимо на панели кнопок нажать на иконку «Выбрать объект» и выбрать нужный профиль, после чего в менеджере свойств установить «Длину линии захода на профиль» в метрах.
2. Для контроля следования курса необходимо воспользоваться установкой путевой точки, для этого необходимо нажать на панели кнопок иконку «Установить путевую точку», установить курсор и нажать левой кнопки мыши в месте установки путевой точки.

Действия в экстремальных условиях

Выполнение геофизических работ должно быть приостановлено при ухудшении метеоусловий: снижении видимости менее 20 м, усилении ветра до штормового (более 20 м/с), сильном обледенении, при экстремальных и аварийных ситуациях.

При возникновении на площадке аварийных ситуаций, угрожающих жизни и здоровью людей, необходимо немедленно эвакуироваться в безопасное место.

При появлении дыма, искрения кабеля, характерного запаха и прочих внешних признаков возгорания, немедленно прекратить работы и отключить питание устройства.

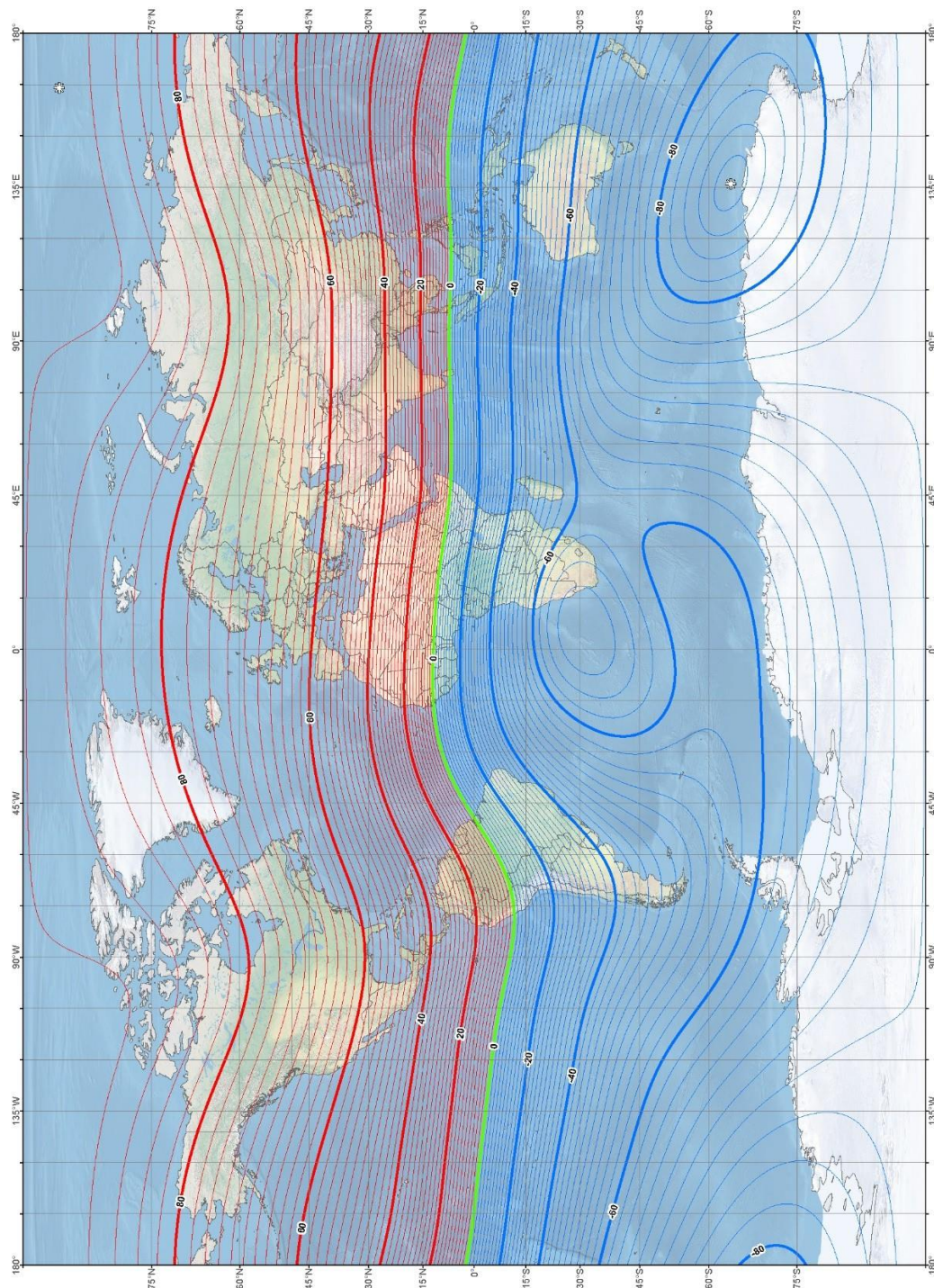
Хранение прибора осуществляется в упаковке предприятия-изготовителя в условиях складских помещений, исключающих прямое воздействие атмосферных осадков (дождь, снег, туман и т. п.) в условиях 2 (С) по ГОСТ15150-69, при температуре окружающей среды от +5 до +35 °С и относительной влажности от 5 до 95 %.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ХРАНЕНИЕ МАГНИТОМЕТРА СОВМЕСТНО С ИСПАРЯЮЩИМИСЯ ЖИДКОСТЯМИ, КИСЛОТАМИ И ДРУГИМИ ВЕЩЕСТВАМИ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВЫЗВАТЬ КОРРОЗИЮ МЕТАЛЛА И НАРУШЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ.

Карты магнитного наклонения и полной напряженности магнитного поля Земли

Магнитное наклонение

Всемирная магнитная модель – 2020.0 Магнитное наклонение главного поля



Map developed by NOAA/NGM and GRS
<https://ngm.noaa.gov/geomag/WM>
 Published December 2019

Полная напряженность магнитного поля

Всемирная магнитная модель – 2020.0

Полная напряжённость главного поля

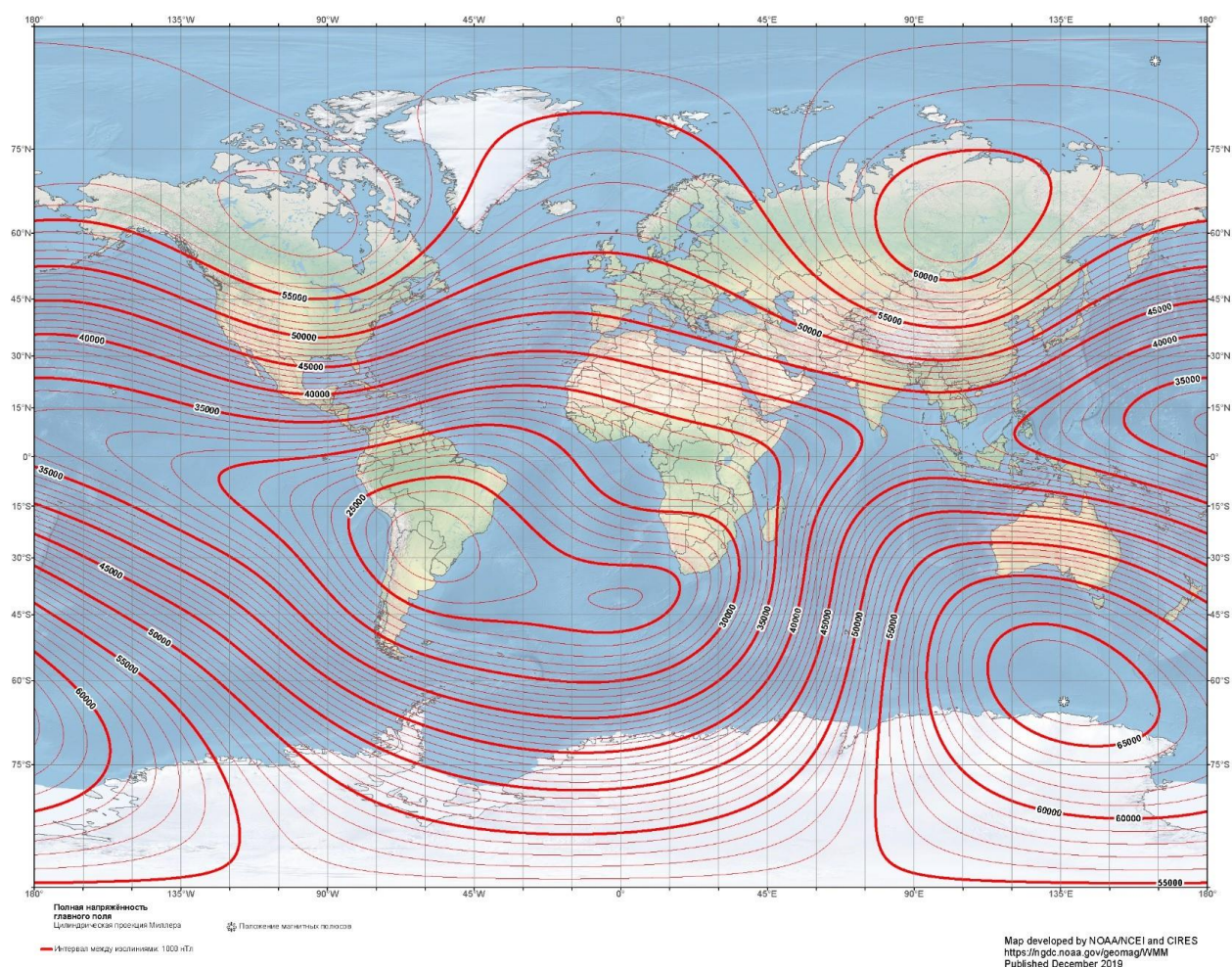


Рисунок 42 – Карта полной напряженности МПЗ. NOAA's National Centers for Environmental Information

Инструкция по эксплуатации аккумуляторной батареи

Тип аккумуляторной батареи

В комплект магнитометра MariMag входит свинцово-кислотная аккумуляторная батарея напряжением 24 В и ёмкостью 9 А·ч.



Рисунок 43 – Аккумулятор с кабелем питания

Таблица 3. Технические характеристики, параметры и габариты аккумуляторной батареи

Наименование	Значение
Номинальное напряжение	24 В
Номинальная емкость	9 А·ч
Режим заряда	током не более 0.9 А до конечного напряжения 29 В в диапазоне температур от +10 до +40 °С
Режим разряда	током не более 4 А до конечного напряжения 21 В
Габариты (Д x Ш x В)	240 × 198 × 109 мм
Вес	5.5 кг
Диапазон рабочих температур	От +10 до +40 °С — заряд От +10 до +40 °С — разряд
Условия хранения	Полностью заряженным при температуре от +5 до +30 °С

Зарядка батареи

Зарядку батареи рекомендуется производить при температуре от +10 до +40 °С с помощью автоматического зарядного устройства, имеющегося в комплекте магнитометра (см. пункт 7.3).

Полностью заряженная батарея после отключения зарядного устройства должна иметь напряжение не менее 25 В (без нагрузки).

Меры предосторожности

Эксплуатация батареи должна производиться с соблюдением всех мер предосторожности, предусмотренных при работе со свинцово-кислотными аккумуляторами.

1. Берегите аккумулятор от ударов и не роняйте его.
2. Берегите аккумулятор от короткого замыкания.
3. Не используйте аккумулятор с заведомо не рабочими зарядными устройствами.
4. Не заряжайте аккумулятор от зарядного устройства, не предназначенного для данного аккумулятора.
5. Не вскрывайте аккумулятор, это может привести к его поломке!
6. В случае разгерметизации батареи и попадании электролита на кожу или в глаза, немедленно промойте глаза и кожу чистой водой.
7. Если вы почувствовали неприятный запах от аккумулятора, изменился его цвет или появились какие-то особые дефекты, выключите из сети зарядное устройство и отсоедините от аккумулятора, после чего прекратите его использование.
8. Избегайте попадания на аккумулятор прямых солнечных лучей, воды и различных жидкостей.
9. Не допускайте при хранении соприкосновения контактов аккумулятора с металлическими предметами.
10. Храните аккумулятор в сухом месте при комнатной температуре и в недоступном для детей месте.

Инструкция для пользователя зарядного устройства

Тип зарядного устройства

В комплект магнитометра MariMag входит зарядное устройство, служащее для заряда аккумуляторной свинцово-кислотной батареи от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.



Рисунок 44 – Зарядное устройство

Таблица 4. Технические характеристики, параметры и габариты зарядного устройства

Наименование	Значение
Входное напряжение	220 В переменного тока
Максимальный ток заряда	0.8 А
Вес	285 г
Защита	от переплюсовки и короткого замыкания

Заряд батареи

Подключите аккумуляторную батарею к зарядному устройству, а затем подключите его к сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

После подключения аккумулятора устройство автоматически определяет требуемое напряжение, и начинается зарядный процесс. При этом горит красный светодиод. После того, как зарядка завершена, красный сигнал выключается, и устройство переходит в режим поддерживающего заряда. Аккумулятор полностью заряжен и готов к использованию.

Индикация

Красный сигнал светодиода горит: аккумулятор заряжается.

Красный сигнал светодиода не горит: аккумулятор заряжен / режим поддерживающего заряда.

Зеленый сигнал светодиода: после подсоединения аккумулятора к устройству один из четырех зеленых светодиодов показывает напряжение аккумулятора.

Зеленый светодиод «24V» так же горит, если аккумулятор не подсоединен.

Меры предосторожности

1. Используйте зарядное устройство только в помещении и не оставляйте его во влажном месте или под дождём.

2. Отключайте зарядное устройство от сети, если оно не используется.

3. Не включайте зарядное устройство в сеть в случае повреждения.

4. Не разбирайте зарядное устройство.

5. Убедитесь, что заряд аккумуляторов происходит в температурном диапазоне от +10 °C до +40 °C.

6. При зарядке аккумуляторы и зарядные устройства могут нагреваться. Однако, при чрезмерном нагреве (когда поверхность з/у невозможно потрогать рукой), а также при признаках оплавления АКБ или корпуса з/у, неприятном запахе или любых признаках дыма, немедленно отключите з/у от сети.

7. Не размещайте зарядное устройство на ворсистой поверхности или мягких обивках.

8. Используйте и храните зарядное устройство в местах, недоступных для детей. Неправильное обращение может привести к поражению электрическим током и пожару.

9. Не оставляйте включенное в сеть зарядное устройство или его адаптер на длительное время без присмотра, даже после окончания заряда.

Программа двумерной интерпретации данных магниторазведки и гравиразведки.ZONDGM2D

Программа ZondGM2D предназначена для двумерной интерпретации профильных и площадных данных магниторазведки и гравиразведки. Удобный интерфейс и широкие возможности представления данных позволяют максимально эффективно решить поставленную геологическую задачу.

Традиционным методом поиска железосодержащих объектов является магниторазведка, изучающая магнитное поле создаваемое телами, содержащими ферромагнитные минералы. Связь измеряемых на поверхности земли характеристик с магнитными свойствами изучаемого разреза, позволяет сделать предположение о наличии в нем магнитовозмущающих объектов.

В магниторазведке измеряется полное магнитное поле, которое складывается из нормального поля Земли, аномального поля, создаваемого намагниченными объектами и вариаций магнитного поля, основная часть которых связана с солнечной активностью. Полезной составляющей связанной с исследуемым разрезом является аномальное поле, которое можно выделить, учтя нормальное поле и измеряя магнитные вариации на участке работ.

Магнитное поле на поверхности земли может быть представлено в виде векторной суммы: $T = T_n + T_a + \delta T_v$, где T_n и T_a - нормальное и аномальное магнитные поля, δT_v - поле магнитных вариаций. Нормальное поле T_n подразделяется на дипольную, T_d и недипольную T_m составляющие, т.е. $T_n = T_d + T_m$.

Дипольное поле T_d , которым в первом приближении описывается магнитное поле земли, представляет собой поле однородного намагниченного шара. Разность между полем диполя (расчетным) и реально существующим нормальным полем (измеренным спутником) представляет собой недипольную часть T_m нормального поля, часто называемую остаточным полем или полем материковых аномалий (размеры этих аномалий соизмеримы с размерами материков), максимальные значения, которого не превышают 30% величины дипольного поля.

Значения T_n постепенно увеличиваются от 33000 нТл на экваторе до 68000 нТл вблизи полюсов, вертикальная составляющая нормального поля в районе северного полюса достигает 60000 нТл, меняет знак на отрицательный при переходе через экватор и постепенно уменьшается от 0 на экваторе до -68000 нТл у южного полюса земли. Горизонтальная составляющая максимальна вблизи экватора (33000 нТл) и уменьшается до

нуля на полюсах. Градиент нормального магнитного поля составляет приблизительно 5 нТл на километр.

Источниками аномального магнитного поля T_a являются разнонамагниченные объекты, находящиеся вблизи поверхности земли. Предельная глубина залегания магнитных пород около 50 км, на большей глубине магнитные свойства пород исчезают вследствие повышения температуры.

По величине поле T_a составляет приблизительно 10% от T_n , исключение составляет Курская магнитная аномалия, где поле T_a достигает десятков тысяч нТл. Аномалии магнитного поля, создаваемые горными породами условно разделяют на региональные и локальные.

Переменную часть δT_v магнитного поля земли образуют магнитные вариации, вклад которых в общее поле менее 1%. Наиболее важные вариации можно разделить на периодические (солнечно-суточные и короткопериодные колебания) и аperiodические (бухтообразные возмущения и магнитные бури).

Все вариации вызваны внешними (относительно земли) источниками: взаимодействием заряженных частиц с ионосферой; электрическими токами, распространяющимися в полосовых зонах высоких широт на высоте 100-150 км, и т.п. В общем случае учет магнитных вариаций имеет существенное значение в магниторазведке, т.к. они вносят весьма значительные искажения в наблюдаемые данные.

Программа ZondGM2D позволяет решать прямую и обратную задачи магниторазведки и гравиразведки (восстановление аномальной магнитной восприимчивости, плотности и геометрии магнитовозмущающих объектов).

В программе значения магнитной восприимчивости задаются в системе СИ ($\text{n} \cdot 10^{-5}$), плотности в г/см^3 ; измеренные значения в наннотеслах и миллигаллах.

Визуализация данных

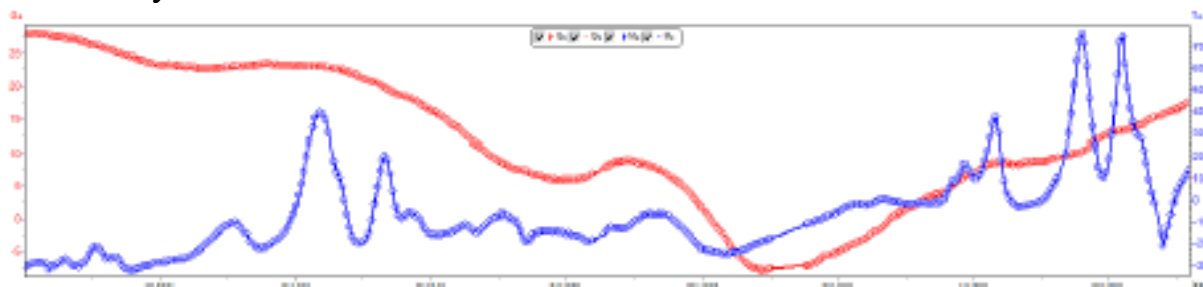


Рис. 1 Окно графиков профилирования

По умолчанию теоретические кривые изображаются сплошными кривыми, экспериментальные сплошными линиями с кружками в точках измерений. Синим цветом отображаются теоретические и экспериментальные графики магниторазведки, красным – гравиразведки.

Графические параметры наблюдаемых и рассчитанных графиков могут быть установлены в диалоге настройки графиков (подробнее). Параметры оси могут быть установлены в редакторе оси (правый щелчок+SHIFT на оси) (подробнее).

Для удаления точек используйте колесо мыши (как кнопку) с нажатой клавишей ALT или соответствующим пунктом меню при нажатии правой кнопки мыши на точке. Размер области удаления регулируется при помощи колеса.

Программа ZondGM2D также позволяет работать с данными каротажа. В этом случае окно программы выглядит следующим образом:

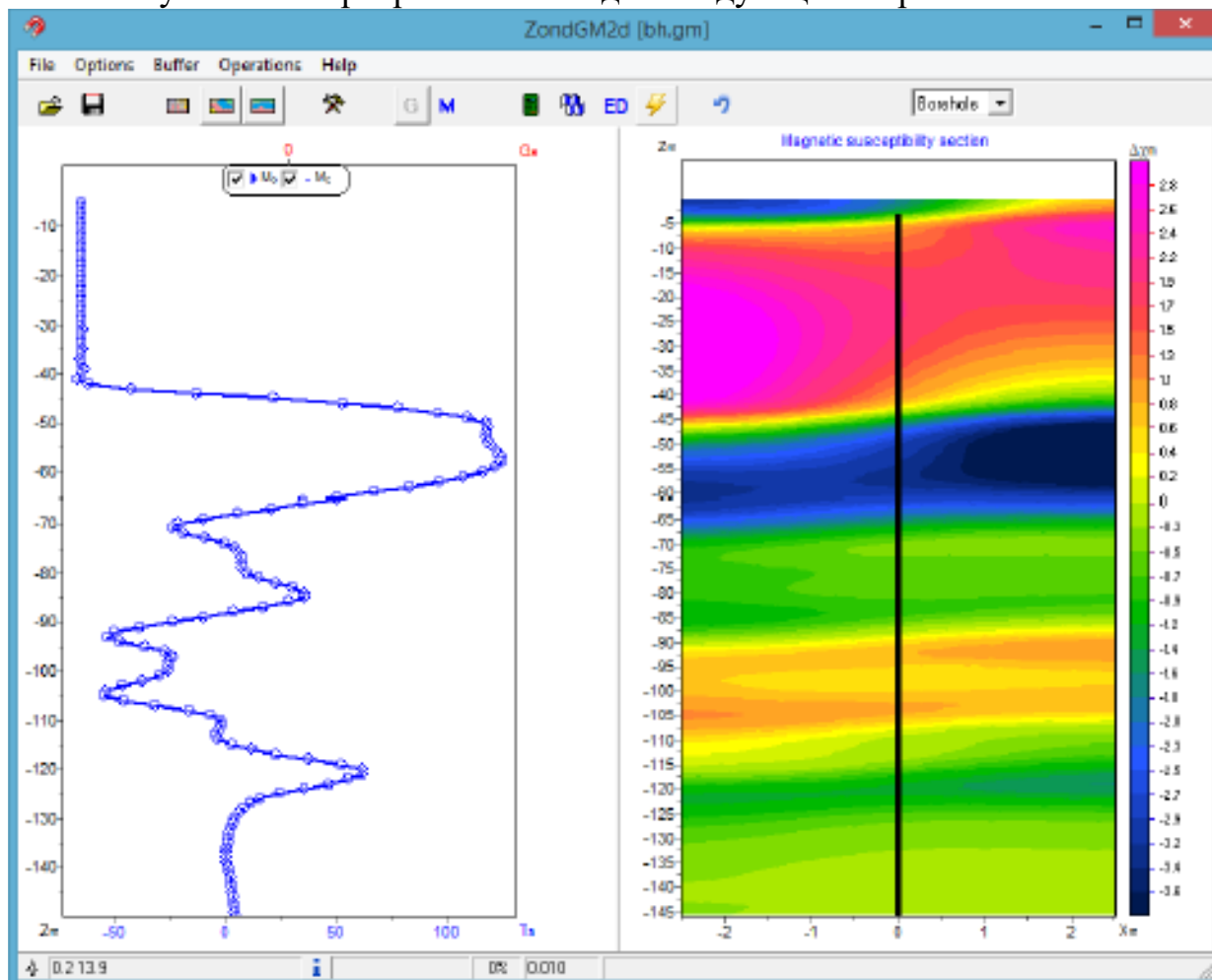


Рис. 2. Главное окно программы в режиме работы с данными магнитного каротажа

Моделирование

Моделирование – важнейший процесс интерпретации потенциальных полей. Программа предоставляет три основных режима модели: сеточная (блоковая) модель, полигональная модель и произвольно-слоистая модель.

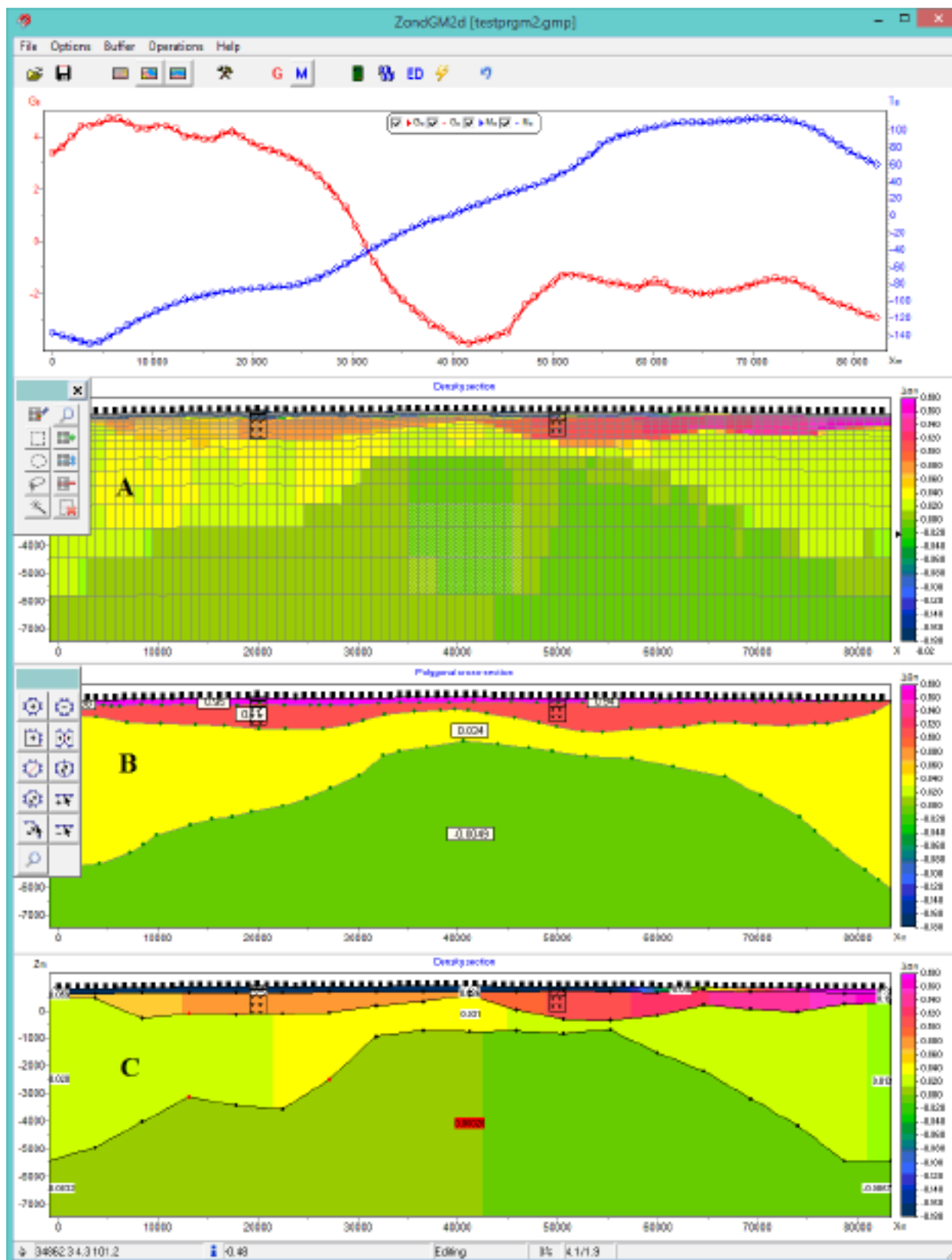


Рис. 3. Варианты рабочего окна программы в разных режимах модели. Где А- сеточная (блоковая) модель, В - полигональная модель и С - произвольно-слоистая модель.

Сеточная (блоковая) модель

Создание модели производится в редакторе модели – нижняя графическая секция окна программы. Среда разбита регулярной сетью ячеек (блоковый режим).

Режим доступен при нажатой кнопке на панели инструментов главного окна программы. Данный вариант наиболее удобен для решения обратной задачи (автоматического восстановления плотностного разреза или разреза магнитной восприимчивости). Результат инверсии является хорошим начальным приближением для последующей геолого-геофизической интерпретации. При работе в блоковом режиме существует также возможность редактирования геометрии сети, созданной в диалоге Options / Mesh constructor.

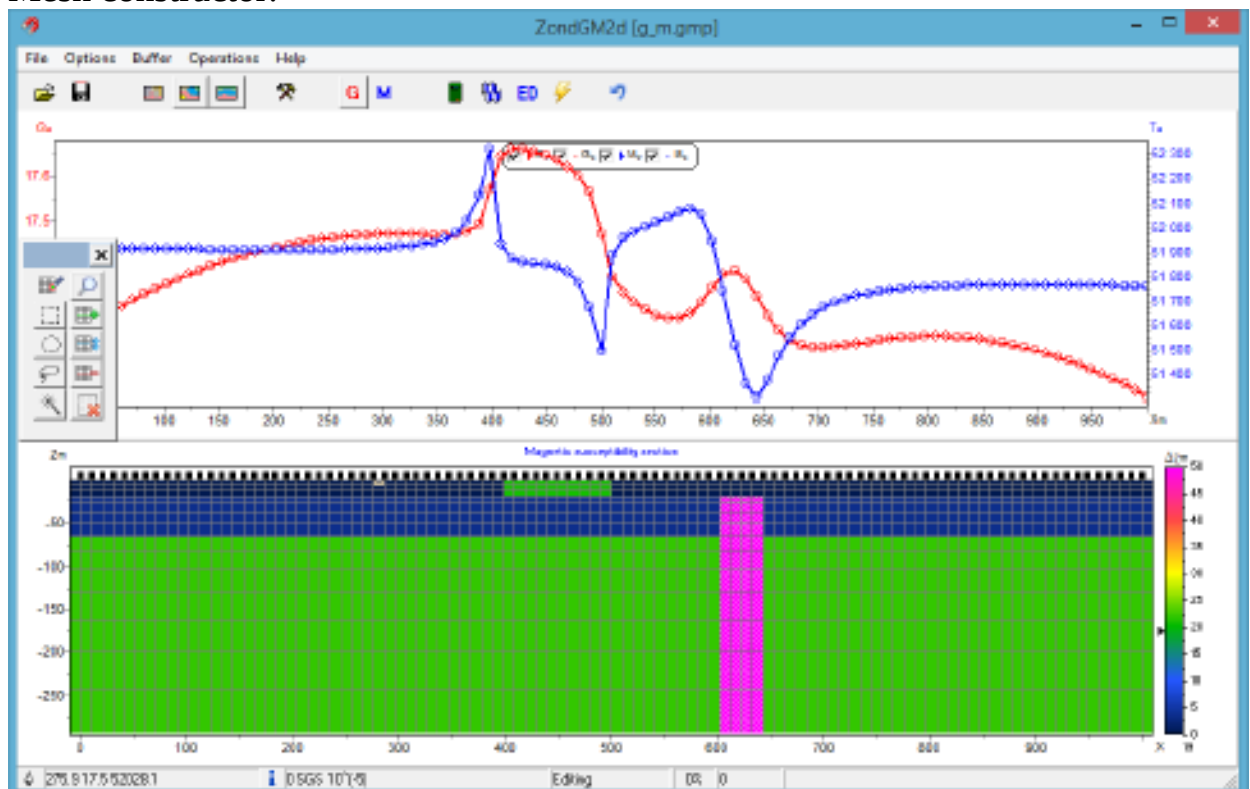


Рис. 4. Окно в программы в сеточном режиме

Редактор модели служит для изменения параметров отдельных ячеек модели с помощью мыши. Справа от области редактирования модели находится цветовая шкала, связывающая значение цвета со значением параметра. Для выбора текущего значения следует щелкнуть по шкале правой кнопкой мыши, при этом его значение изображается ниже цветовой шкалы.

Работа с ячейками модели сходна с редактированием пикселей в растровых графических редакторах. При перемещении курсора в области модели, на нижней панели статуса главного окна программы отображаются координаты и параметры активной ячейки, в которой находится курсор. Активная в данный момент ячейка окружена прямоугольником – курсором. Выделенная или зафиксированная ячейка отмечается точкой в середине.

Сеточную модель можно отображать в виде ячеек Options/Model/Block-section, в гладкой интерполяционной палитре Options/Model/Smooth-section и в виде контурного разреза Options/Model/Contour-section.

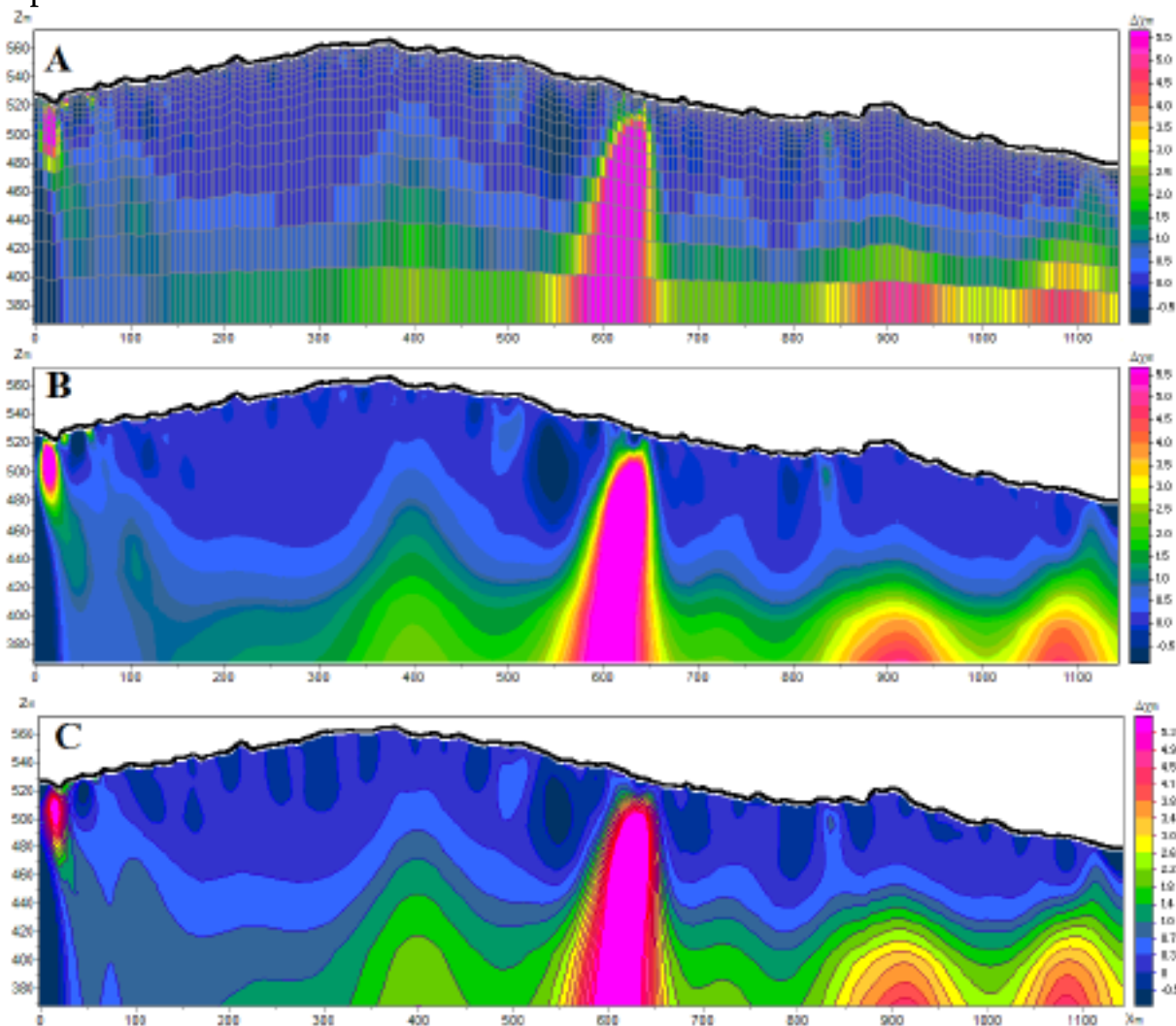


Рис. 5. Варианты отображения модели: Block-section (A), Smooth-section (B), Contour-section (B)

При перемещении курсора мыши по созданным в процессе работы с программой окнам, в левой секции панели статуса главного окна программы отображаются координаты, соответствующие собственным осям данного окна.

От выбранного режима отображения модели зависят дополнительные возможности программы. Математическое моделирование удобнее проводить в режиме Block-section.

При нажатии правой кнопкой мыши в разных областях редактора модели появляются контекстные меню со следующими опциями.

Полигональная модель

Режим доступен при нажатой кнопке на панели инструментов главного окна программы. Полигональный вариант описания петрофизической среды, способствует более структурному подходу к интерпретации данных. При

подобной схеме двумерное сечение каждого из тел, моделирующих разрез, описывается замкнутым полигоном. Построение модели осуществляется путем заполнения разреза набором полигонов произвольной геометрии, с заданными магнитными и плотностными параметрами. Это наиболее удобный вариант для конечной фазы интерпретации. ZondGM2D располагает большим набором инструментов, позволяющим быстро создавать модели любой степени сложности.

Создание полигональных моделей в ZondGM2D сходно с процессом создания полигонов в векторных графических редакторах.

Режим полигонального моделирования позволяет описывать как отдельные полигоны

(тела) в однородной вмещающей среде, так и систему связанных друг с другом полигонов (тел). Для создания полигона и его редактирования нужно выбрать необходимый инструмент из панели инструментов полигонального моделирования.

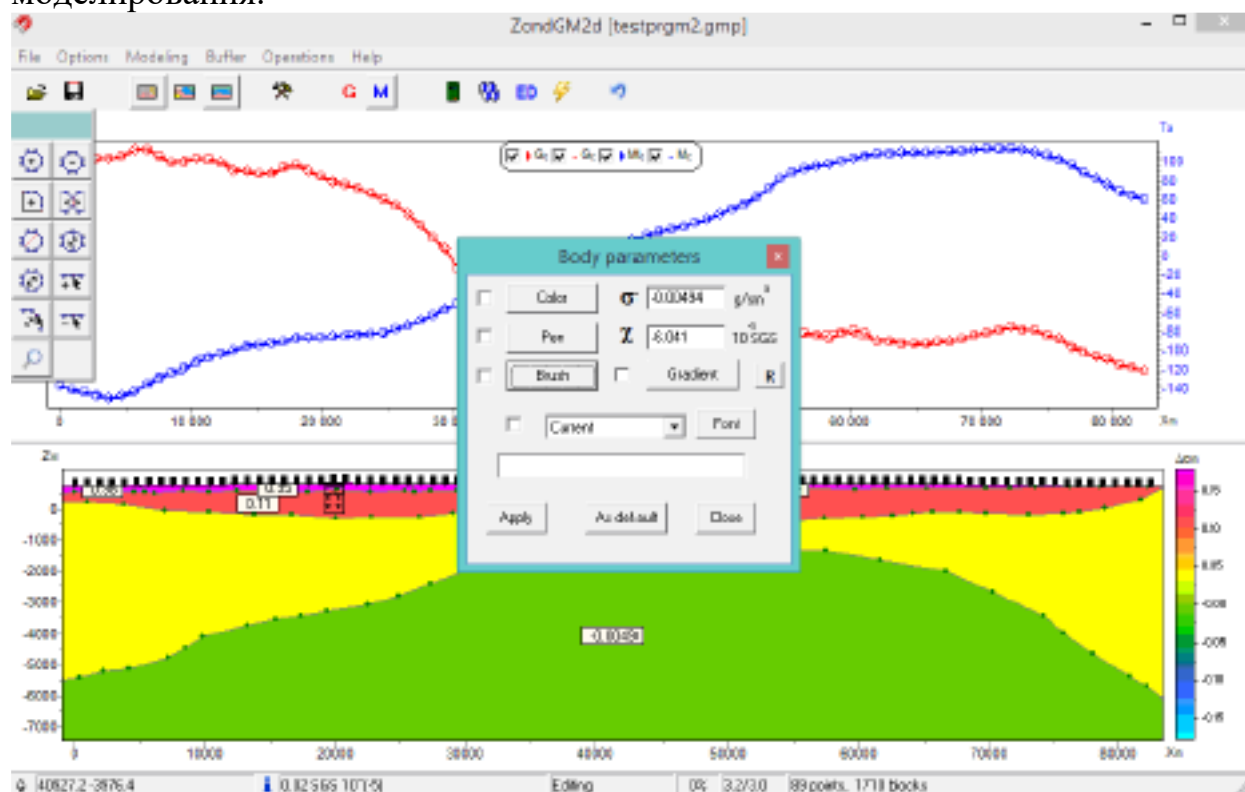


Рис. 6. Модель среды в режиме полигональном режиме

Программа для трехмерной интерпретации данных магниторазведки ZondGM3D

Программа ZondGM3D предназначена для трехмерной интерпретации площадных данных магниторазведки и гравиразведки.

Программа позволяет решать прямую и обратную задачи магниторазведки и гравиразведки (восстановление аномальной магнитной восприимчивости, плотности и геометрии аномальных объектов).

При разработке обратной задачи особое внимание уделено учету априорной информации (веса отдельных измерений, диапазоны изменения параметров).

ZondGM3D использует простой и понятный формат файла данных.

Программа позволяет импортировать и отображать результаты измерений другими методами, что способствует более комплексному подходу к интерпретации данных.

В программе значения магнитной восприимчивости задаются в системе СИ ($n \cdot 10^{-5}$), плотности в г/см³; измеренные значения в нанотеслах и миллигалах.

Программа ZondGM3D может быть установлена на компьютере с операционной 64-битной системой Windows 7 и выше. Минимальные параметры системы: процессор P IV-2 ГГц, 4Гб памяти (рекомендуется не менее 32Гб), разрешение экрана 1024 X 768 (не следует изменять разрешение экрана в режиме работы с данными), цветовой режим - True color.

Так как программа использует ресурсы системного реестра, в системах выше Windows XP ее следует запускать от имени администратора (правой кнопкой мыши на значок программы – запустить от имени администратора).

Традиционным методом поиска железосодержащих объектов является магниторазведка, изучающая магнитное поле, создаваемое телами, содержащими ферромагнитные минералы. Связь измеряемых на поверхности земли характеристик с магнитными свойствами изучаемого разреза позволяет сделать предположение о наличии в нем магнитовозмущающих объектов.

В магниторазведке измеряется полное магнитное поле, которое складывается из нормального поля Земли, аномального поля, создаваемого намагниченными объектами, и вариаций магнитного поля, основная часть которых связана с солнечной активностью. Полезной составляющей, связанной с исследуемым разрезом, является аномальное поле, которое можно выделить, учтя нормальное поле и измеряя магнитные вариации на участке работ.

Магнитное поле на поверхности земли может быть представлено в виде векторной суммы: $T = T_n + T_a + \delta T_v$, где T_n и T_a – нормальное и аномальное магнитные поля, δT_v – поле магнитных вариаций. Нормальное поле T_n

подразделяется на дипольную, T_d и недипольную T_m составляющие, т.е. $T_n = T_d + T_m$.

Дипольное поле T_d , которым в первом приближении описывается магнитное поле земли, представляет собой поле однородного намагниченного шара. Разность между полем диполя (расчетным) и реально существующим нормальным полем (измеренным спутником) представляет собой недипольную часть T_m нормального поля, часто называемую остаточным полем или полем материковых аномалий (размеры этих аномалий соизмеримы с размерами материков), максимальные значения, которого не превышают 30% величины дипольного поля.

Значения T_n постепенно увеличиваются от 33000 нТл на экваторе до 68000 нТл вблизи полюсов, вертикальная составляющая нормального поля в районе северного полюса достигает 60000 нТл, меняет знак на отрицательный при переходе через экватор и постепенно уменьшается от 0 на экваторе до – 68000 нТл у южного полюса земли. Горизонтальная составляющая максимальна вблизи экватора (33000 нТл) и уменьшается до нуля на полюсах. Градиент нормального магнитного поля составляет приблизительно 5 нТл на километр.

По величине поле T_a составляет приблизительно 10% от T_n , исключение составляет Курская магнитная аномалия, где поле T_a достигает десятков тысяч нТл.

Аномалии магнитного поля, создаваемые горными породами, условно разделяют на региональные и локальные.

Переменную часть δT_v магнитного поля земли образуют магнитные вариации, вклад которых в общее поле менее 1%. Наиболее важные вариации можно разделить на периодические (солнечно-суточные и короткопериодные колебания) и аperiodические (бухтообразные возмущения и магнитные бури).

Все вариации вызваны внешними (относительно земли) источниками: взаимодействием заряженных частиц с ионосферой; электрическими токами, распространяющимися в полосовых зонах высоких широт на высоте 100-150 км, и т.п. В общем случае учет магнитных вариаций имеет существенное значение в магниторазведке, т.к. они вносят весьма значительные искажения в наблюдаемые данные.

Способность материалов и горных пород намагничиваться характеризуется магнитной восприимчивостью - основным магнитным свойством горных пород.

В системе СИ это безразмерная величина. Практически ее измеряют в 10⁻⁵ ед. СИ. У разных горных пород она меняется от 0 до 10 ед. СИ. По магнитным свойствам минералы и горные породы делятся на три группы: диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные. У диамагнитных пород магнитная восприимчивость очень мала (менее 10⁻⁵ ед. СИ) и отрицательна, их намагничение направлено против намагничивающего поля. К диамагнитным относятся многие минералы и горные породы, например,

кварц, каменная соль, мрамор, нефть, лед, графит, золото, серебро, свинец, медь и др.

Общий вид программы

Общий вид программы показан на рисунке ниже. Окно состоит из заголовка, пунктов основного меню, иконок панели быстрого доступа, рабочей области и строки состояния.

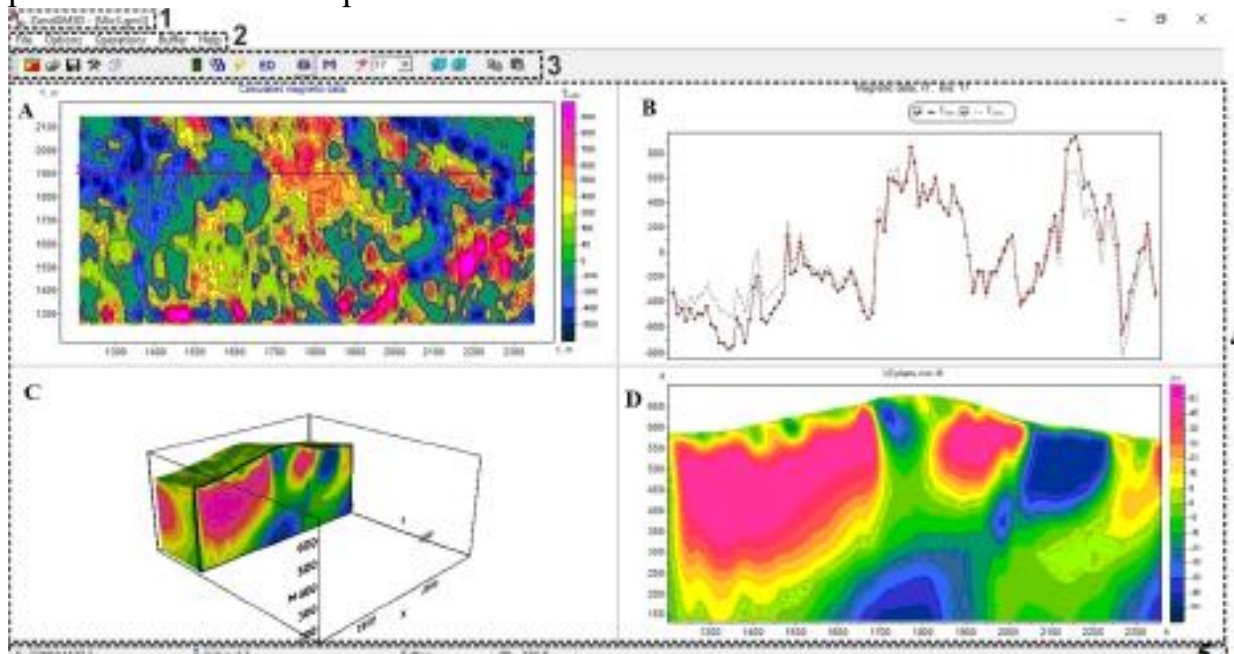


Рис. 1 Общий вид программы. 1 – заголовок, 2 – главное меню, 3 - панель быстрого доступа, 4 – рабочая область (А – план, В – область визуализации профильных данных, С – область 3D модели, D – область редактора модели), 5 – строка состояния

Рабочая область программы ZondGM3D разделена на 4 основные секции:

А - в левом верхнем углу показан план данных. В этой области можно отображать наблюдаемые, посчитанные значения поля или значения невязок. Данные можно изображать в виде карты изолиний, плана графиков и представлять карту в виде точек.

В - в верхнем правом углу представлена область визуализации профильных данных в виде наблюдаемых и расчетных графиков. Профиль выбирается на панели быстрого доступа

С - в левом нижнем углу расположена область 3D модели.

Д - в правом нижнем углу отображается область редактора модели в режиме среза (2D) по выбранному сечению. Срез выбирается на панели быстрого доступа, с использованием кнопок.

Загрузка полевых данных из файлов

Формат основного файла данных *.gm3

Для начала работы с программой ZondGM3D необходимо создать файл данных определенного формата, содержащий информацию о координатах точек измерений, топографии и результатах измерений текстовыми файлами данных (структура такого файла описывается ниже), либо файлами проектов

(создаются программой при сохранении). Файл проекта бинарный, прочесть его можно только с помощью ZondGM3D.

Текстовые файлы данных, организованные в формате программы ZondGM3D, имеют расширение «*.gm3». Файлы формата *.gm3 могут иметь разную структуру.

Желательно, чтобы суммарное количество измерений содержащихся в одном файле не превышало 100 000. При больших объёмах измерений рекомендуется предварительно децимизировать или гридировать данные.

Текстовый файл *.gm3 является внутренним форматом данных и имеет нижеописанную структуру.

Блок описания гравитационных (магнитных) данных должен начинаться строкой start_d_grav (start_d_mag). Далее следуют строки, содержащие информацию о координатах измерений и полевые данные. Первый столбец – номер профиля измерений, второй и третий столбцы – координаты пунктов измерения (в метрах), четвертый – измеренные значения гравитационного поля (в мГал) или измеренные значения магнитного поля (в нТл), пятый – вертикальная координата точки измерения со знаком минус (в метрах, отрицательная величина), шестой столбец – вес измерения (может отсутствовать). Блок описания гравитационных (магнитных) данных должен заканчиваться строкой end_d_grav (end_d_mag). Наличие данных магнитных и гравитационных измерений в одном файле не обязательно.

```
start_d_mag
1      350869.00      7422345.00      -56.00  -941.00  1.00
1      350873.00      7422354.00      -69.68  -939.00  1.00
1      350877.00      7422363.00      -74.42  -938.00  1.00
<.....|.....>
138    358902.00      7423356.00      -60.81  -758.00  1.00
138    358906.00      7423365.00      -61.38  -758.00  1.00
138    358910.00      7423374.00      -61.13  -759.00  1.00
end_d_mag
start_d_grav
1      352695.85      7426168.80      0.90    -951.82    1.00
2      352685.45      7425961.95      0.80    -965.42    1.00
2      352930.02      7425981.16      0.80    -1030.04    1.00
<.....>
27     356667.44      7419736.73      -0.80    -972.00    1.00
27     356968.89      7419733.04      -0.90    -1034.73    1.00
27     357190.99      7419696.53      -0.90    -919.35    1.00
end_d_grav
```

Рис. 2 Пример файла

Визуализация данных

В программе существует возможность отображать площадные данные в виде карты изолиний (Options / Data / Contour map), плана графиков (Options / Data / Graphics map) и представлять данные в виде точек на плане (Options / Data / Points map).

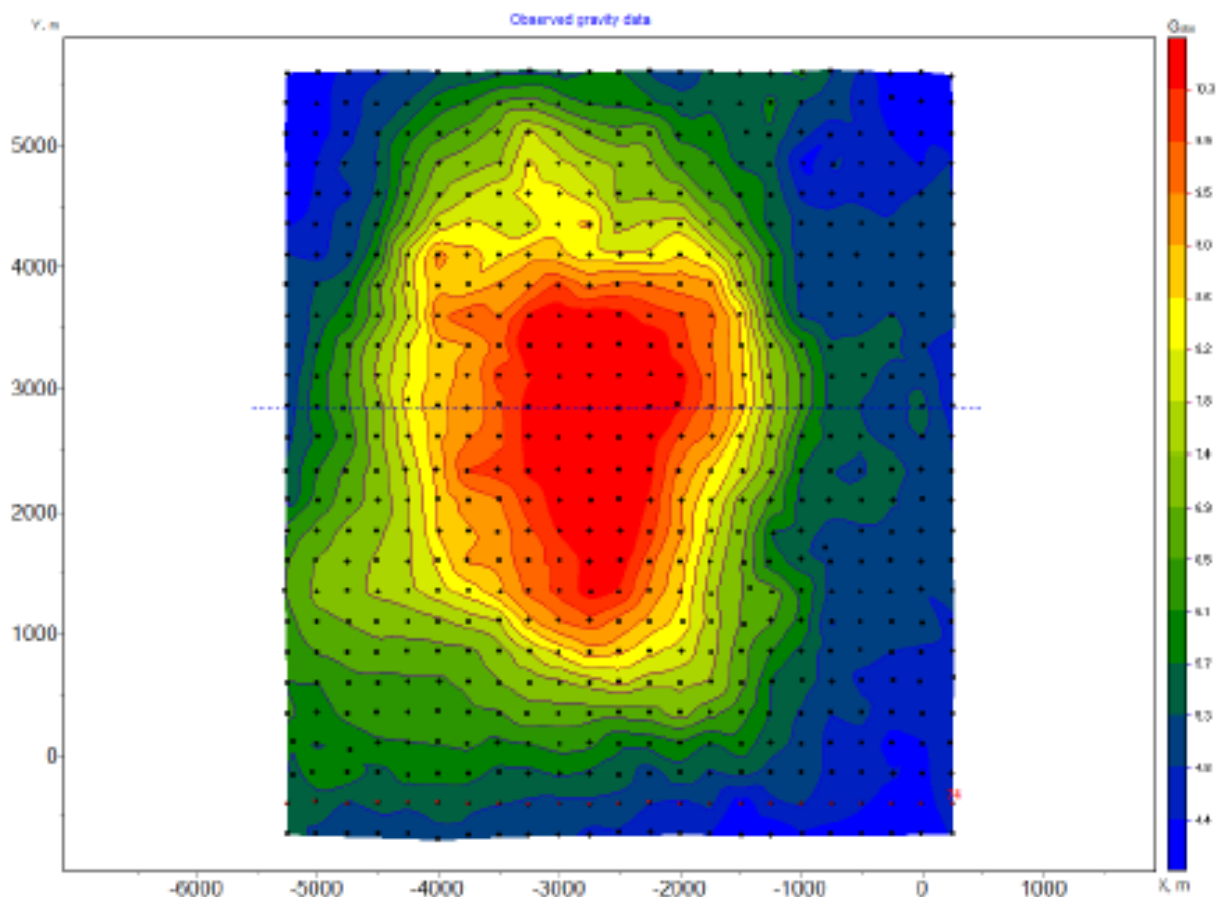


Рис. 3 Пример плана изолиний

На плане изолиний красными точками отображается положение профиля, график которого показан в области визуализации профильных данных (правое верхнее окно программы). Цифрами показан номер профиля.

Синей линией показано текущее положение среза 3D модели.

Положение скважин на плане изолиний отображается черным крестиком.

Моделирование

Моделирование – важный процесс, предшествующий полевым работам. Используя априорную информацию о поисковом объекте, его физических свойствах и параметрах вмещающей среды, геофизик может задать теоретическую модель, соответствующую ожидаемой геологической обстановке. Результат моделирования позволяет определить характер и амплитуду аномалии. Предварительный анализ позволяет оптимизировать методику полевых работ. Такой подход считается профессиональным.

Программа ZondGM3D позволяет моделировать данные методов магниторазведки и гравиразведки в трёхмерном варианте (3D) с учетом рельефа. Необходимыми входными данными для проведения моделирования являются геометрия системы наблюдений, параметры нормального поля и модель среды. Кроме этого можно строить модели на основе других моделей пакета Zond и геологических разрезов, заданных в виде растрового изображения.

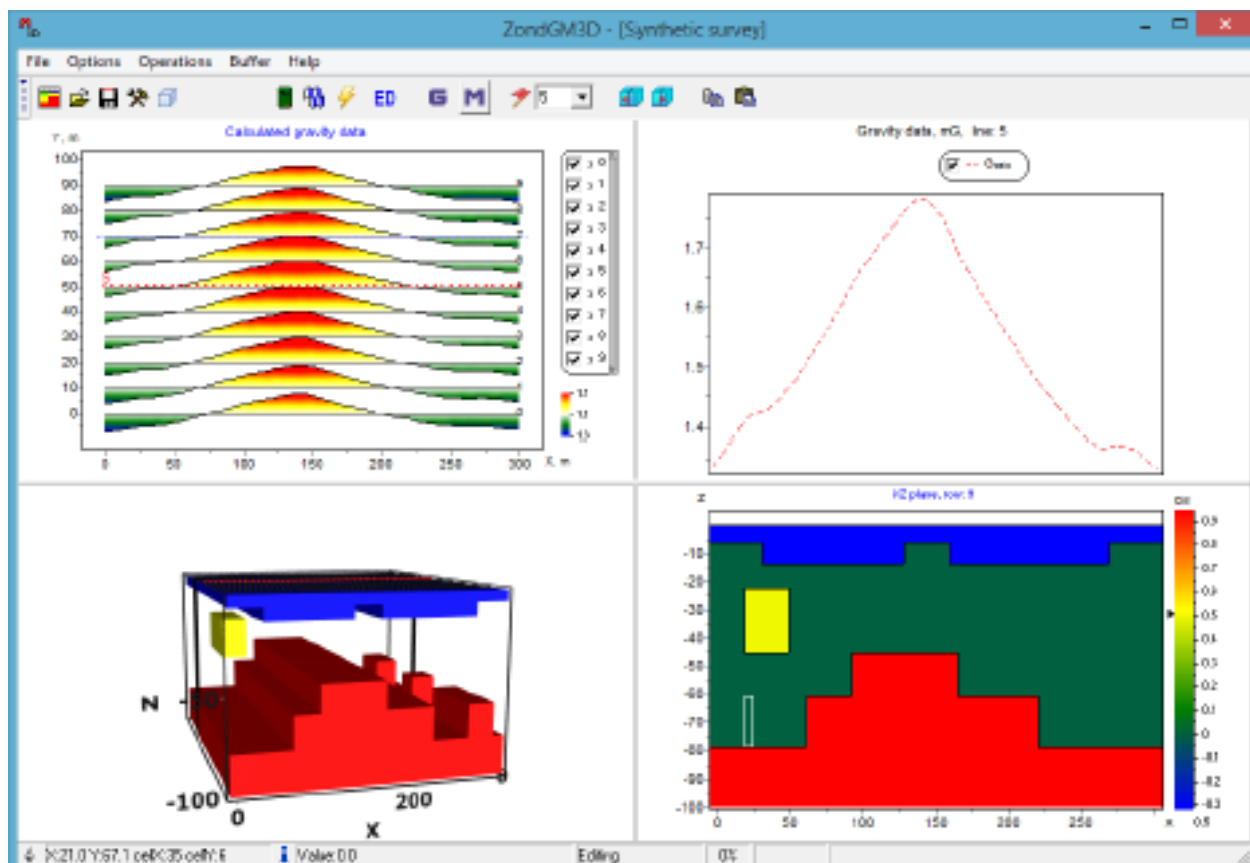


Рис. 4 Главное окно программы в режиме моделирования

Сохранение и использование модельных данных

Для того чтобы использовать рассчитанные значения в качестве полевых данных при инверсии, нужно сохранить результат в режиме Calculated data. Данные сохраняются в текстовый файл. После этого можно открыть сохранённый файл как наблюдаемые данные. В качестве альтернативы, можно воспользоваться опцией Project with calculated, но перед инверсией необходимо будет, очистить текущую модель. Далее можно выполнить инверсию таких данных и проанализировать отличия восстановленной модели от оригинальной.

Этот механизм позволяет тестировать системы наблюдений и проверять различные гипотезы.