

## РЕЦЕНЗИЯ №1

на статью «**Геофизические исследования Керченско-Таманского шельфа Чёрного моря при инженерном строительстве**»

авторского коллектива: **А.Н. Иваненко, Ю.В. Брусиловский, А.В. Хортов, И.А. Веклич.**

### **Этап №1**

Статья посвящена результатам детальных геолого-геофизических инженерных работ на Керченско-Таманском шельфе.

Статья представляет несомненный методический и результативный интерес для применения методов совместной интерпретации данных магнитной морской съёмки и изображений среды, полученной высокоразрешающим многоканальным сейсмическим профилированием. Несмотря на рутинный характер инженерно-геологических работ по определению природных и техногенных опасностей для площадок предстоящего бурения, которые выполняются в виде стандартных работ за последние два десятилетия, разнообразие геологических условий оставляет ряд нерешенных проблем для каждой новой инженерно-геологической съёмки. Авторами применен оригинальный метод выделения крайне небольших магнитных аномалий на фоне, полученного довольно плавных изменений основного аномального поля, которое изменяется на участках измерений в очень небольших пределах (до 6 нано Тесла). В статье получен ряд интересных корреляций сейсмических изображений с остаточной высокочастотной компонентой магнитного поля и дана геологическая интерпретация полученных результатов.

Однако есть ряд небольших замечаний, работа с которыми, несомненно, значительно улучшит понимание представленного в статье материала.

В параграфе «**Краткий обзор геолого-геофизической изученности Керченско-Таманского шельфа**» говорится о геологическом строении верхней части разреза Керченского пролива и Таманского полуострова. Однако Карта на рис. 1. Показывает район работ, который удален от Керченского пролива на 30 км на юг и на 20 км на запад и находится на окончании крымского шельфа перед началом глубоководной впадины. Необходимо показать или объяснить связь Крымского шельфа и, в частности, района работ с описываемыми районами Керченского пролива и прибрежной полосы Керчь-Анапа (это уже Кавказ), почему мы ожидаем аналогичного геологического строения в районе работ.

### В параграфе «**Методика и оборудование сейсмических исследований**»

Описан хорошо источник возбуждения и приемная сейсмическая станция, однако не понятно, это одноканальная или многоканальная сейсмика, какая длина сейсмической косы, сколько было каналов, их геометрическое расположение относительно судна. Если многоканальная сейсмика, то хорошо бы указать размер площадки ОГТ и кратность съёмки, хотя их и можно вычислить расстоянию между излучениями и приемниками. Хорошо бы указать среднюю глубину воды и расстояние от источника до первого канала (минимальное удаление). Указано, что сейсмический комплекс, построенный на базе станции XZONE Bottom Fish, разработки «SI Technology». А какая именно коса, какие гидрофоны (тип, чье производство), сколько их в группе. Коса, похоже аналоговая (или?) и оцифровка идет на судне? Как контролировали глубину и положение источника? как контролировали глубину погружения косы, был ли концевой буй, и какая была девиация косы?

### В параграфе «**Методика обработки и интерпретации морской магнитной съёмки**»

Описан примененный магнитометр и способ его буксировки. Постулируется, что глубина буксировки магнитометра была 25-30 м. Каким образом контролировалась глубина погружения магнитометра. На ряде моделей магнитометра Geometrix G822 имеется эхолот и/или датчик глубины. Есть ли такие данные в текущей инженерной съёмке, как изменялась глубина от галса к галсу, есть ли статистика и среднеквадратичная ошибка этих измерений? Другая не обсуждаемая проблема в этой съёмке – точность определения положения магнитометра относительно GPS антенны судна, ведь длина выпускаемого заборного

кабеля 267 м была много больше, чем расстояние между галсами в 15 и 30 м магнитометр мог легко уйти с одного галса на другой при буксировке и если судно шло лагом с небольшим углом к направлению движения. Для решения этой проблемы обычно используют подводную навигацию (какая есть), но сейчас наиболее популярна для таких приложений навигация с ультракороткой базой, когда акустический ответчик прикрепляют рядом с магнитометром и контролируют его положения в течении всей съёмки.

Еще одна необсужденная в статье проблема – это учет дневных вариаций магнитного поля, иногда бывают возмущения в поле и если их не учитывать, то возмущение поля можно путать с локальной аномалией и дать неверную интерпретацию. Для решения этой проблемы можно было бы на берегу (благо до него всего 30 км) поставить магнитовариационную станцию и по ней делать поправки.

К сожалению, в параграфе не указан общий объём съёмки в км, и сколько дней на нее ушло. Однако есть информация о взаимно-пересекающихся галсах по которым ходило судно. Если есть точки пересечения в начале в середине и в конце каждого дня, то можно различия в измерениях магнитного поля в одном и том же месте относить вариациям магнитного поля, их восстанавливать и вычитать, конечно, нужно быть уверенным при этом в положении магнитометра.

Нет в параграфе и упоминаний о контроле качества навигационных данных и о системе навигации, и ее точности (сколько независимых систем было на судно).

Но главный критерий качества магнитной съёмки, должен быть внешний и сделан анализ разностей (финальный) по пересекающимся точкам на разных галсах в разное время. Какая среднеквадратичная ошибка получилась и какая точность съёмки в наноTesla?

Почему эти все вопросы важны? Они все влияют на точность. Дело в том, что основные результаты на 2 ух полигонах дают почти однородное поле. Далее идет анализ остаточного поля. Аномалии остаточного поля получились совсем маленькие до 0,5 нано Tesla. И встает вопрос - остаточные аномалии – это шум или реальные данные? Если шум, то весь дальнейший анализ магнитных аномалий ставиться под вопрос.

В статье приведено несколько удачных примеров корреляции сейсмического разреза и остаточных магнитных аномалий. Сколько таких примеров насчитывается? Выделенных точек с аномалиями очень много. Какая статистика корреляции особенностей сейсмического разреза с полученными магнитными включениями? Можно ли ее оценить количественно? Сколько магнитных аномалий обнаружено, которые никак не коррелируют с полученным сейсмическим разрезом, а сколько реально коррелирующих?

**Подпись. Рецензент №1. 05.08.2020.**

+++++

**Ответ рецензенту №1 на Рецензию от 05.08.2020 на статью авторского коллектива: А.Н. Иваненко, Ю.В. Брусиловский, А.В. Хортов, И.А. Веклич:**

**«Геофизические исследования Керченско-Таманского шельфа Чёрного моря при инженерном строительстве».**

**Рецензент:**

*Статья посвящена результаты детальных геолого-геофизических инженерных работ на Керченско-Таманском шельфе. Статья представляет несомненный методический и результативный интерес для применения методов совместной интерпретации данных магнитной морской съёмки и изображений среды, полученной высокоразрезающим многоканальным сейсмическим профилированием. Несмотря на рутинный характер инженерно-геологических работ по определению природных и техногенных опасностей для площадок предстоящего бурения, которые выполняются в виде стандартных работ за последние два десятилетия, разнообразие геологических условий оставляет ряд нерешенных проблем для каждой новой инженерно-геологической съёмки. Авторами применен оригинальный метод выделения крайне небольших магнитных аномалий на фоне, полученного довольно плавных изменений основного аномального поля, которое изменяется на участках измерений в очень небольших пределах (до 6 нано Тесла). В статье получен ряд интересных корреляций сейсмических изображений с остаточной высокочастотной компонентой магнитного поля и дана геологическая интерпретация полученных результатов.*

Однако есть ряд небольших замечаний, работа с которыми, несомненно, значительно улучшит понимание представленного в статье материала.

В параграфе «Краткий обзор геолого-геофизической изученности Керченско-Таманского шельфа» говорится о геологическом строении верхней части разреза Керченского пролива и Таманского полуострова. Однако Карта на рис. 1. Показывает район работ, который удален от Керченского пролива на 30 км на юг и на 20 км на запад и находится на окончании крымского шельфа перед началом глубоководной впадины. Необходимо показать или объяснить связь Крымского шельфа и, в частности, района работ с описываемыми районами Керченского пролива и прибрежной полосы Керчь-Анапа (это уже Кавказ), почему мы ожидаем аналогичного геологического строения в районе работ.

#### Авторы:

В силу известных причин авторы избегали формулировок «Крымский шельф» и точной геодезической привязки района работ. Тем не менее, общая геолого-тектоническая привязка полигонов исследований показана и, на наш взгляд, этого достаточно для целей данной работы.

#### Рецензент:

В параграфе Методика и оборудование сейсмических исследований

Описан хорошо источник возбуждения и приемная сейсмическая станция, однако не понятно, это одноканальная или многоканальная сейсмика, какова длина сейсмической косы, сколько было каналов, их геометрическое расположение относительно судна. Если многоканальная сейсмика, то хорошо бы указать размер площадки ОГТ и кратность съёмки, хотя их и можно вычислить расстоянию между излучениями и приемниками. Хорошо бы указать среднюю глубину воды и расстояние от источника до первого канала (минимальное удаление). Указано, что сейсмический комплекс, построенный на базе станции XZONE Bottom Fish, разработки «SI Technology». А какая именно коса, какие гидрофоны (тип, чье производство), сколько их в группе. Коса, похоже аналоговая (или?) и оцифровка идет на судне? Как контролировали глубину и положение источника? как контролировали глубину погружения косы, был ли концевой буй, и какая была девиация косы?

#### Авторы:

Замечание учтено, добавлен абзац с более детальным описанием технологии сейсмической съёмки.

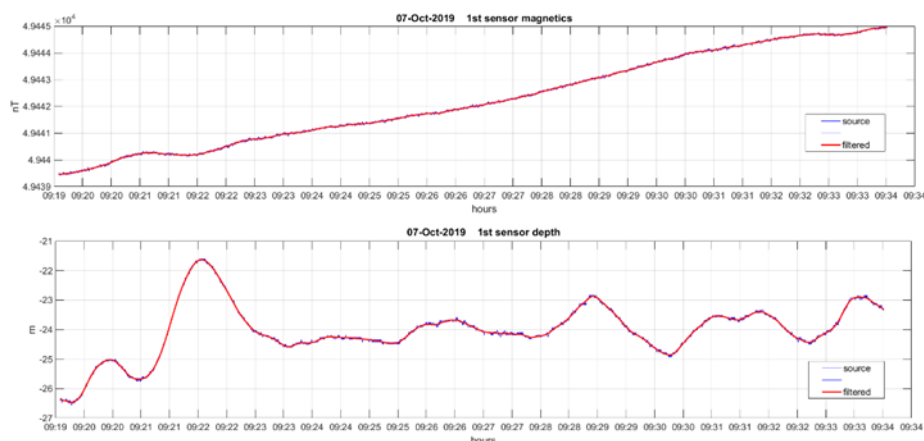
#### Рецензент:

В параграфе Методика обработки и интерпретации морской магнитной съёмки

Описан примененный магнитометр и способ его буксировки. Постулируется, что глубина буксировки магнитометра была 25-30 м. Каким образом контролировалась глубина погружения магнитометра. На ряде моделей магнитометра Geometrix G822 имеется эхолот и/или датчик глубины. Есть ли такие данные в текущей инженерной съёмке, как изменялась глубина от галса к галсу, есть ли статистика и среднеквадратичная ошибка этих измерений?

#### Авторы:

Замечание учли, добавили данные о глубине буксировки магнитометра. Ниже пример записи магнитного поля и глубины гондолы на развороте и на съёмочном галсе. В статью включать подобные иллюстрации сочли излишним из-за ограничений по числу рисунков.



#### Рецензент:

Другая не обсуждаемая проблема в этой съёмке – точность определения положения магнитометра относительно GPS антенны судна, ведь длина выпускаемого забортного кабеля 267 м была много больше, чем расстояние между галсами в 15 и 30 м магнитометр мог легко уйти с одного галса на другой при буксировке и если судно шло лагом с небольшим углом к направлению движения. Для решения этой проблемы обычно используют подводную навигацию (какая есть), но сейчас наиболее популярна для таких приложений навигация с ультракороткой базой, когда акустический ответчик прикрепляют рядом с магнитометром и контролируют его положения в течении всей съёмки.

#### Авторы:

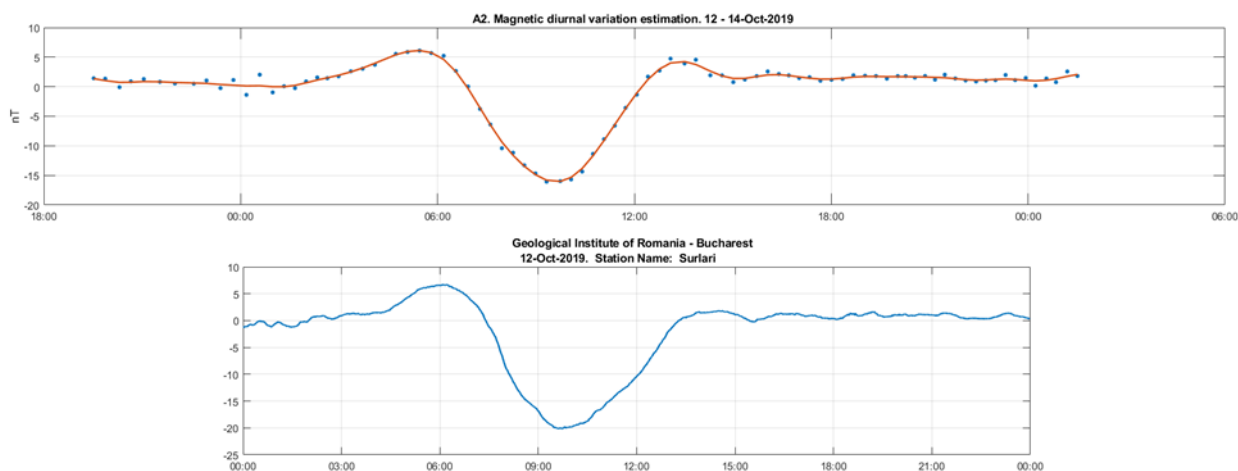
Замечание учли. Добавили абзац с описанием калибровки позиционирования и алгоритмов обработки.

### Рецензент:

Еще одна необсужденная в статье проблема – это учет дневных вариаций магнитного поля, иногда бывают возмущения в поле и если их не учитывать, то возмущение поля можно путать с локальной аномалией и дать неверную интерпретацию. Для решения этой проблемы можно было бы на берегу (благо до него всего 30 км) поставить магнитовариационную станцию и по ней делать поправки.

### Авторы:

К сожалению, по логистическим причинам использование магнитовариационной станции на крымском берегу было невозможно, а до ближайшей точки таманского берега было около 70 км, поэтому нами использовался косвенный метод учета временных вариаций МПЗ (по точкам пересечения галсов). Ниже приведены графики вариационных поправок, рассчитанных нами по невязкам в точках пересечения галсов (фиолетовая линия) и синхронная запись вариационной станции в Сурлари (Румыния), расположенной на той же широте, но на 10° западнее. Солнечно-суточные вариации МПЗ в спокойной геомагнитной обстановке отличаются на одной широте, в основном, фазовым сдвигом, который зависит от местного времени (долготы) обсерватории. На приводимых на рис. графиках видно, что кривая поправок для галсов (синие точки) очень похожа на обсерваторскую запись (нижний график) вариации модуля индукции МПЗ, но сдвинута примерно на 40 мин (10° по долготе)). В статью включать подобные иллюстрации сочли излишним из-за ограничений по числу рисунков.



### Рецензент:

К сожалению, в параграфе не указан общий объём съёмки в км, и сколько дней на нее ушло. Однако есть информация о взаимно-пересекающихся галсах по которым ходило судно. Если есть точки пересечения в начале в середине и в конце каждого дня, то можно различия в измерениях магнитного поля в одном и том же месте относить вариациям магнитного поля, их восстанавливать и вычитать, конечно, нужно быть уверенным при этом в положении магнитометра.

### Авторы:

Замечание учли, вставили абзацы с данными.

### Рецензент:

Нет в параграфе и упоминаний о контроле качества навигационных данных и о системе навигации, и ее точности (сколько независимых систем было на судно).

### Авторы:

Добавили абзац.

### Рецензент:

Но главный критерий качества магнитной съёмки, должен быть внешний и сделан анализ разностей (финальный) по пересекающимся точкам на разных галсах в разное время. Какая среднеквадратичная ошибка получилась и какая точность съёмки в наноTesla?

### Авторы:

Добавили абзацы.

**Рецензент:**

*Почему эти все вопросы важны? Они все влияют на точность. Дело в том, что основные результаты на 2-ух полигонах дают почти однородное поле. Далее идет анализ остаточного поля. Аномалии остаточного поля получились совсем маленькие до 0,5 нано Tesla. И встает вопрос - остаточные аномалии – это шум или реальные данные? Если шум, то весь дальнейший анализ магнитных аномалий ставится под вопрос.*

**Авторы:**

Анализируемые остаточные аномалии, действительно, крайне незначительны по амплитуде, однако они а) в целом соответствуют правилу  $3\sigma$  и б) коррелируют в плане, поэтому мы сочли допустимым их анализ исходя из задачи исследований – поиск потенциально опасных для бурения объектов и зон.

**Рецензент:**

*В статье приведено несколько удачных примеров корреляции сейсмического разреза и остаточных магнитных аномалий. Сколько таких примеров насчитывается? Выделенных точек с аномалиями очень много. Какая статистика корреляции особенностей сейсмического разреза с полученными магнитными включениями? Можно ли ее оценить количественно? Сколько магнитных аномалий обнаружено, которые никак не коррелируют с полученным сейсмическим разрезом, а сколько реально коррелирующих?*

**Авторы:**

К сожалению, подробный анализ корреляции магнитных и сейсмических аномалий по исследованным площадкам невозможен по причине ограничений на использование коммерческих сейсмических данных, поэтому мы ограничились констатацией их хорошего в целом совпадения и привели отдельные примеры этого.

Благодарим рецензента за квалифицированный и подробный анализ рукописи, позволивший ее существенно улучшить и дополнить.

**С уважением, Авторский коллектив. 08.11.2019.**

+++++

**Подтверждение Рецензента №1 на публикацию:**

Авторы прислали исчерпывающие ответы, Замечаний больше нет, статью можно публиковать.

**Подпись. Рецензент №1. 03.09.2020.**