

# Комплексная интерпретация геофизических данных в сложных геолого-геофизических условиях зоны сочленения Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской синеклизы

- Сокулина К.Б., Хуснуллина Г.Ф., ООО «ЦГМ НИР Поволжья», г. Саратов
- Золотая Л.А., МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва
- Сивожелезов Е.В., ООО «ТЕРРАПОД», г. Саратов

**Аннотация:** В статье представлены результаты исследований по комплексированию геофизических данных: гравиразведки, магниторазведки и сейсморазведки в сложных геолого-геофизических условиях, а именно в зоне сочленения Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской синеклизы.

**Ключевые слова:** углеводородное сырьё, солянокупольная тектоника, геолого-геофизическая информация, скважинные данные, фундамент, тектоническое нарушение, отражающий горизонт

## Введение

Первые исследования авторов статьи по комплексированию гравиразведки и сейсморазведки были успешно проведены в сложных геолого-геофизических условиях солянокупольной тектоники. В данной статье приведены результаты комплексной интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и сейсморазведки в зоне сочленения Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской синеклизы.

## Актуальность проблемы

В настоящее время всё больше возрастает интерес недропользователей к комплексированию данных геопотенциальных полей и сейсморазведки в сложных геолого-геофизических условиях. Комплексирование безусловно может помочь там, где основным геофизическим методом – сейсморазведка, дает неоднозначные результаты [1]. В 2023 году группой авторов [5,6,7], начаты работы по комплексированию данных гравитационной, магнитной и сейсмической разведки на территории Русской платформы, первые работы были выполнены по Прикаспийской впадине. Получены интересные результаты в плане районирования малоизученной территории северо-западной

части Прикаспийской впадины с помощью комплексирования по гравитационным (g), магнитным (T) и сейсмическим данным, что позволило не только выявить наиболее перспективные в нефтегазоносном отношении участки работ, но и уменьшить риски при бурении поисково-оценочных скважин. Используемая авторами методология по комплексированию геофизических данных для изучения строения зоны сочленения Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской синеклизы, может быть рекомендована для исследования аналогичных тектонических зон.

## Данные и методы

Рассматриваемая площадь исследований в тектоническом плане расположена в зоне сочленения двух крупных структур Русской платформы: Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской синеклизы, и приурочена к южной, наиболее погруженной части Бузулукской впадины. Исследуемая территория представляет собой систему ступенеобразных блоков кристаллического фундамента и терригенно-карбонатного девона, созданную сетью тектонических нарушений с преобладающим субширотным простиранием. Фундамент в преде-

лах рассматриваемого участка бурением не вскрыт, он погружается в южном направлении, в сторону Прикаспийской впадины.

Перспективность участка в нефтегазовом отношении высока. В непосредственной близости от участка исследований открыт ряд месторождений, в которых были получены промышленные притоки углеводородов в бийско-афонинском, воробьевском, ардатовском, пашийском горизонтах, а также в заволжском надгоризонте, турнейском и башкирском ярусе.

В целом, рассматриваемая площадь работ практически вся покрыта сейсморазведочными работами МОГТ-2D, но съемкой МОГТ-3D покрыта лишь небольшая западная часть участка. Следует отметить низкую изученность площади работ бурением.

Исследуемая площадь работ характеризуется сложными сейсмогеологическими условиями строения пермских (наличие Токаревского сброса), каменноугольных (развитие разновозрастных органогенных построек и эрозионно-карстовых образований), девонских отложений (влияние многочисленных разновозрастных разрывов и активное проявление дизъюнктивной тектоники).

Низкая изученность территории поисково-оценочными и разведочными скважинами обусловлена большими рисками при бурении, в связи со сложными геолого-геофизическими условиями: зоной сочленения двух крупных тектонических элементов I порядка, а также присутствием солянокупольной тектоники.

Предложенные методологические приемы и технология комплексной интерпретации данных геопотенциальных полей и сейсморазведки были использованы для решения задачи уменьшения рисков при заложении

поисково-оценочных и разведочных скважин в сложных геолого-геофизических условиях изучаемой территории из-за недостатка информации по данным глубокого бурения.

Для решения поставленной задачи применена следующая методическая последовательность выполнения работ:

1. На начальном этапе проведена подготовка исходных данных гравитационного поля в редукции Буге (с плотностью  $2.67 \text{ г/см}^3$ ) масштаба 1:200000 в условных координатах; магнитного поля того же масштаба, карт рельефа поверхности, grids поверхностей основных отражающих горизонтов сейсморазведочных данных.

2. Проведение трансформаций гравитационных и магнитных аномалий с целью выделения региональной и локальной составляющих.

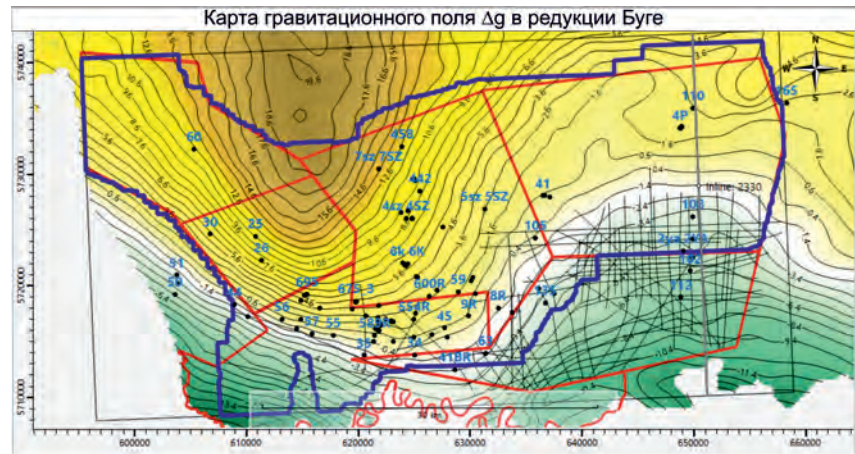
3. Сопоставление пространственного положения выделенных аномалий геопотенциальных полей со структурами, выделенными на основании сейсморазведочных данных.

4. Построение структурно-плотностной модели с целью подтверждения достоверности сейсмических построений.

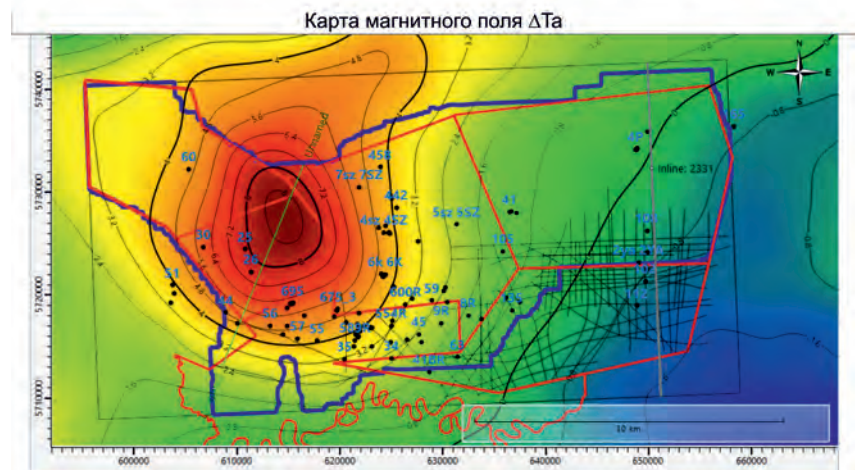
- 5.4. Выявление тектонических нарушений по геопотенциальным полям и сейсмическим данным;

На рисунке 1а и 1б приведены карты гравитационных и магнитных аномалий в пределах изучаемой площади исследований. По этим данным выделяются близкие к изометричным положительные гравитационная аномалия – интенсивностью от 12,6 мГал до 19,6 мГал и магнитная аномалия интенсивностью от 4 нТл до 9 нТл. Можно предположить, что положительная аномалия, расположенная в северо-западной части площади работ, связана с неоднородностями

- Рис. 1а. Фрагмент карт гравитационного поля в районе Токаревско-Уфимской зоны.



- Рис. 1б. Фрагмент карт магнитного поля в районе Токаревско-Уфимской зоны.



внутри толщи фундамента. Природа этих аномалий может быть связана с наличием основных интрузивных пород в составе фундамента [3]. Согласно Гафарову Р.А. [2], интенсивная положительная магнитная аномалия на площади работ приурочена к Токаревско-Уфимской зоне полосовых магнитных аномалий. По мнению этого автора, нижние кромки возмущающихся магнитных масс находятся на больших глубинах.

Токаревская аномалия вызвана массивами основного и ультраосновного состава или очень мощными комплексами вулканогенных пород, имеющих высокие значения плотности и намагниченности, которые приуроченны к зоне глубинного разлома, предположительно проникающего до поверхности Мохоравичича.

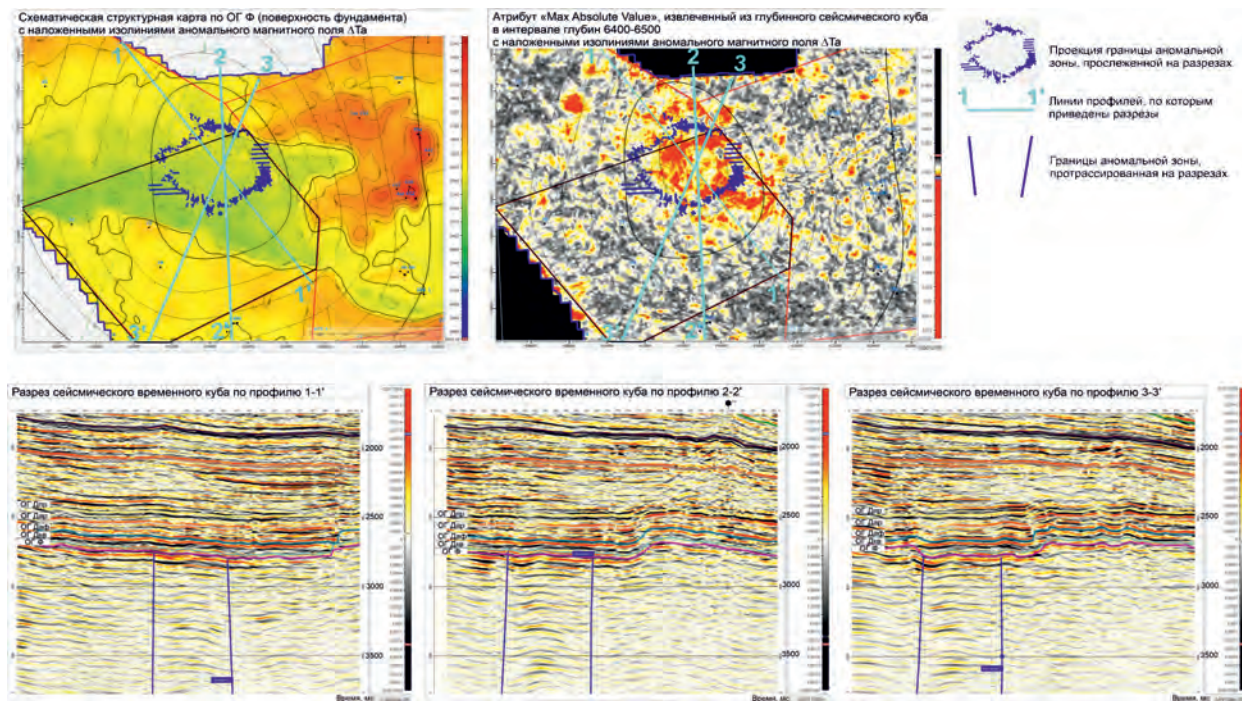
Несмотря на то, что магнитовозмущающие массы расположены на значитель-

ных глубинах, авторами статьи была проанализирована волновая картина на временных и глубинных сейсмических кубах пород фундамента в интервале от 6 км до 8 км, находящихся над аномалообразующим объектом. На разрезах сейсмического куба (рисунок 2), проведенных через центр положительного экстремума магнитного поля  $\Delta Ta$ , в фундаменте выделено положение аномальной зоны, предположительно ограниченной тектоническими нарушениями.

Следующим этапом работы был осуществлен подбор геометрии и физических свойств аномалообразующего объекта для исследования проявления его эффекта в наблюдаемом гравитационном поле.

На первом этапе исследований была построена упрощенная модель, которая опиралась на 8 структурных поверхнос-

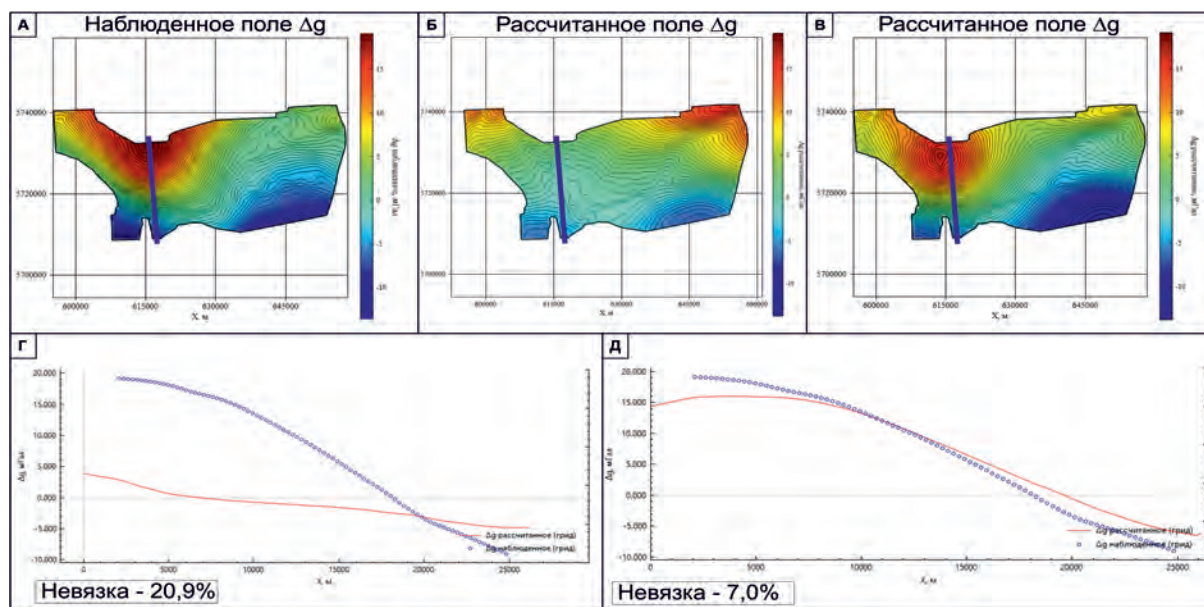




▲ Рис. 2. Проявление магнитной аномальной зоны в волновой картине сейсмических разрезов фундамента.

тей по основным отражающим горизонтам (ОГ): Ф (поверхность кристаллического фундамента (AR-PR)), Даф (кровля

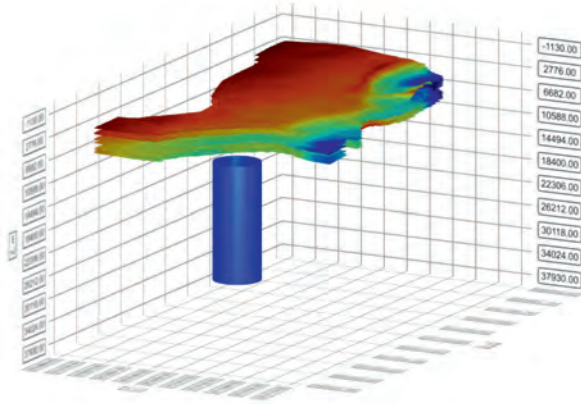
карбонатных отложений афонинского горизонта ( $D_{2af}$ ), Дпр (подошва карбонатов франского возраста - поверхность



Линия профиля, по которому приведены графики наблюдаемых и рассчитанных полей

▲ Рисунок 3. Результаты решения прямой задачи. а) Наблюдаемое гравитационное поле  $\Delta g$  в редукции Буге б) Рассчитанное гравитационное поле  $\Delta g$  для модели первого приближения в) Рассчитанное гравитационное поле  $\Delta g$  для модели, включающей в себя аппроксимирующее тело в форме толстого пласта г) Графики наблюдаемого и рассчитанного гравитационного поля  $\Delta g$  для модели первого приближения д) Графики наблюдаемого и рассчитанного гравитационного поля  $\Delta g$  для модели, включающей в себя аппроксимирующее тело в форме толстого пласта.





▲ Рис. 4. Трехмерная визуализация структурного каркаса и аномалообразующего тела.

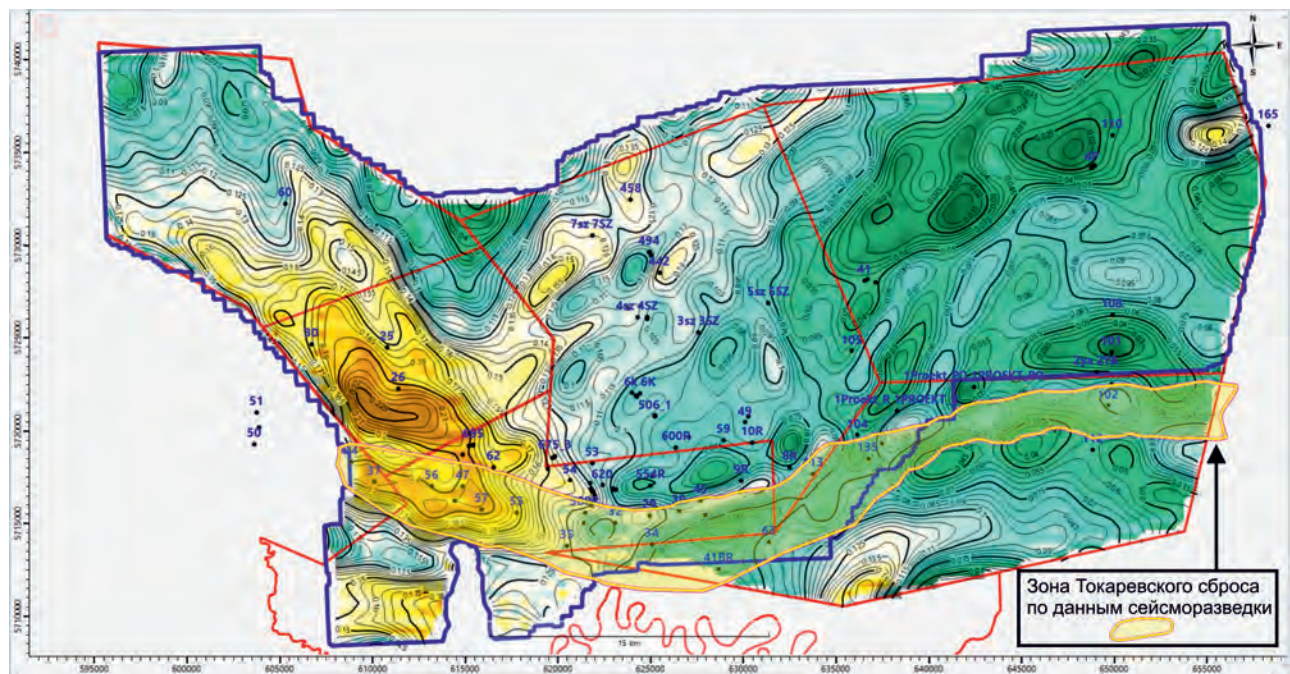
размыва ( $D_{3f}$ )), Т (кровля турнейского яруса ( $C_{1t}$ )), В(Б) (кровля башкирского яруса ( $C_{2b}$ )), А (кровля карбонатных отложений филипповского возраста), Кн2 (кровля филипповского горизонта ( $P_{1f}$ )), Кн1 (кровля солей, залегающих в верхней части иреневского горизонта кунгурского яруса ( $P_{1in}$ )).

Для этой модели была решена прямая задача гравиразведки, при этом невязка рассчитанного и наблюдаемого гравитационного поля составила значительную величину - 20,9%. (Рис. 3 а, б и г). Для

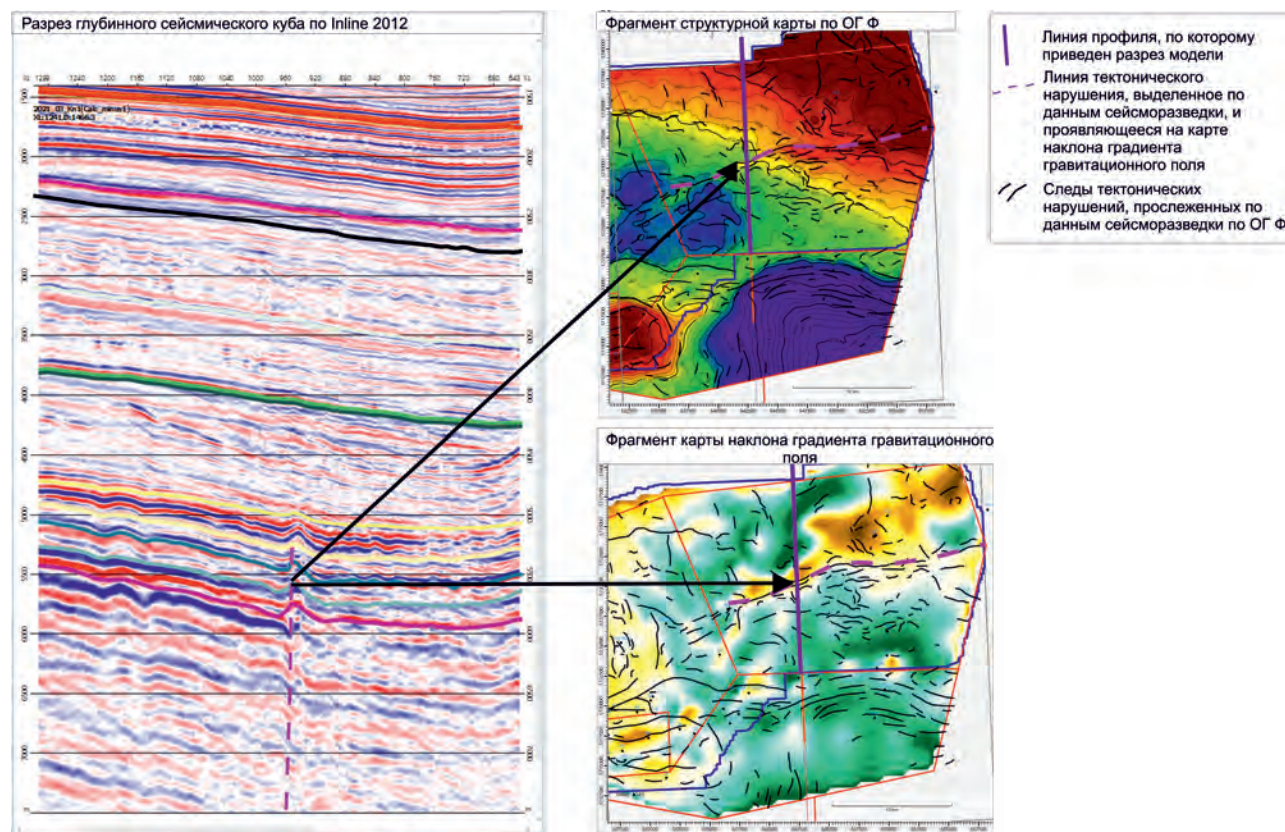
уменьшения невязки была скорректирована модель следующим образом: были проведены количественные расчеты 3D модели в программе GravMagInv [8], которые позволили, используя аппроксимирующую модель в форме толстого пласта (Рис. 4), оценить следующие параметры: горизонтальная мощность – 7 км, верхняя кромка – 10 км, нижняя – 20 км. С учетом включения в модель объекта в форме толстого пласта удалось добиться уменьшения невязки между рассчитанным и наблюдаемым гравитационным полем до 7,0% (рис. 3 а, в и д).

Далее с целью локализации основных структурных элементов возникла необходимость в качественной интерпретации структуры и морфологии геопотенциальных полей и их трансформант.

Трансформации являются распространенными математическими способами преобразования и разделения полей на региональную и локальную составляющие [4]. Авторами были выбраны различные способы трансформации (осреднение методом скользящего окна, фильтры



▲ Рис. 5. Пример схематического районирования территории по морфологии модуля горизонтального градиента гравитационного поля.



▲ Рис. 6. Пример положения тектонического нарушения на глубинном сейсмическом разрезе и на карте наклона градиента гравитационного поля.

Гаусса и Баттерворта, трансформация Саксова-Нигарда, а также различные производные поля, в частности наклон градиента потенциального поля), позволяющие разделить наблюдаемое поле на региональные и локальные составляющие, которые являются весьма полезными на этапе геологической интерпретации. Параметры данных трансформаций (радиусы и размер окна) были подобраны экспериментальным путем.

Например, линейные зоны максимальных значений модуля градиента подчеркивают плановое положение границ между комплексами с различной плотностью. В трансформантах этого типа ярко проявилась граница Токаревского регионального сброса (Рис. 5). На рисунке наложена граница сброса, отстроенная по данным сейсморазведки. Северной его границе соответствует полоса линейных аномалий субширотно-

го простирания. Отчетливо видно, что эти результаты могут быть использованы для прогнозирования ловушек УВС.

На карте наклона градиента гравитационного поля четко отражаются линии тектонических нарушений (рис.6). В рамках представленной работы был выполнен сопоставительный анализ локальных аномалий гравитационного поля со структурными картами, построенными по данным сейсморазведки.

## Выводы

Проведенная комплексная интерпретация данных по гравиразведке, магниторазведке и сейсморазведке в сложных геолого-геофизических условиях зоны сочленения Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской синеклизы позволила повысить достоверность сейсморазведочных материалов, в том числе положение тектонических нарушений, которые на



исследуемой площади обладают важным структурообразующим значением – являются экранами ловушек УВС.

### Литература

1. Блох Ю.И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий: Учебное пособие. М: 2009, 231 с
2. Гафаров Р.А. Сравнительная тектоника фундамента и типы магнитных полей древних платформ (Восточно-Европейской, Сибирской и Северо-Американской); Труды, вып. 279; Изд. «Наука», Москва, 1976
3. Огаджанов В.А., Волкова Е.Н. К вопросу о геологической природе неоднородностей кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы. // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4.
4. Рыскин М. И., Сокулина К.Б., Комплексная интерпретация геофизических данных. // Учебное пособие, Изд-во Саратовского университета. - 2006. – С. 156
5. Сокулина К.Б., Попова П. Ф., Сивожелезов Е. В. Геологическое изучение недр, включая поиски и оценку месторождений углеводородного сырья в надсолевых отложениях Северо-Западной части Прикаспийской впадины // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов - 2(77)/ 2023 - № 2, С. 114-119.
6. Сокулина К.Б., Хуснуллина Г.Ф., Сивожелезов Е. В., Дмитриев В. А. Комплексирование геофизических данных с целью поиска залежей УВС в северо-западной части Прикаспийской впадины // Геофизика. – 2023. – № 4 – с. 84-88.
7. Сокулина К.Б., Хуснуллина Г. Ф., Сивожелезов Е. В., Дмитриев В. А. Комплексирование геофизических данных с целью районирования территории для поиска ловушек УВС в условиях соляноку-

польной тектоники Прикаспийской впадины// Приборы и системы разведочной геофизики. – 2023. – № 3 – с. 122-129

8. Чепиго Л.С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022610137 GravMagInv, 10 января 2022.