

Комплексирование геофизических данных с целью районирования территории для поиска ловушек УВС в условиях солянокупольной тектоники Прикаспийской впадины

- Сокулина К. Б., СГУ, подразделение ООО «Эверест групп», г. Саратов.
- Хуснуллина Г. Ф., ООО «ЦГМ НИР Поволжья», г. Саратов.
- Сивожелезов Е. В., Дмитриев В. А., ООО «ТЕРРАПОД», г. Саратов.

Аннотация.

В статье представлены результаты комплексирования геофизических данных с целью районирования территории для поиска ловушек углеводородного сырья (УВС) в условиях солянокупольной тектоники Прикаспийской впадины, анализ данных сейсморазведки и гравиразведки, различные трансформанты гравитационного поля, прогнозирование глубин.

Ключевые слова: ловушки, углеводородное сырьё, солянокупольная тектоника, геолого-геофизическая информация, комплексирование геофизических данных, гравиразведка, сейсморазведка, мульда, глубинный разрез, трансформации.

Введение

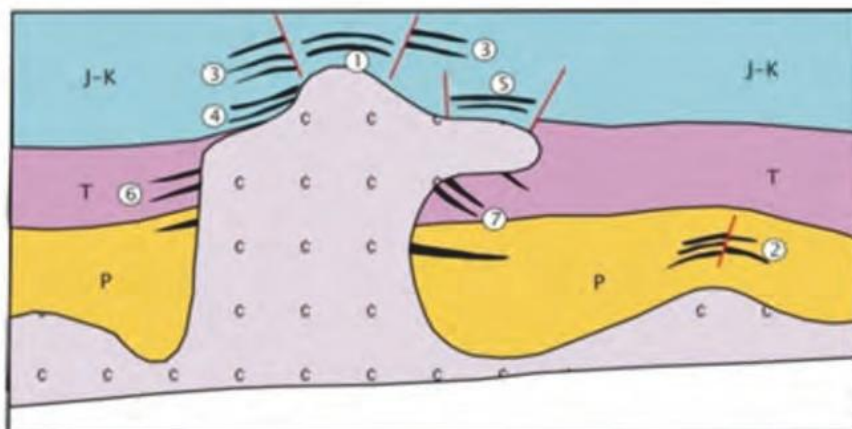
В нефтегазовой отрасли в последние годы сложилась тенденция, что стоимость проведения сейсморазведочных работ нередко соизмерима с бурением неглубоких скважин. Сложные макроэкономические обстоятельства в текущее время диктуют новые требования к постановке геологоразведочных работ (ГРР). Проектирование сейсморазведочных работ на I этапе геологического изучения недр – ответственный шаг, при котором должна учитываться не только полнота геологического изучения участка недр, но и рациональность и оптимальность с экономической точки зрения. Особенно этот вопрос остро стоит для слабоизученных территорий со сложными геолого-геофизическими условиями, к которым и относится исследуемая в данной работе территория Прикаспийской впадины. Во избежание неэффективных инвестиций, важным этапом перед постановкой новых ГРР является анализ всей имеющейся геолого-геофизической информации и районирование изучаемой территории с целью

локализации основных зон распространения прогнозируемых поисковых объектов углеводородного сырья (УВС).

В настоящей статье рассматривается участок, расположенный в Северо-Западной части Прикаспийской впадины. Участок работ характеризуется сложными сейсмогеологическими условиями, связанными с солянокупольным тектогенезом.

Основными поисковыми объектами на данной территории являются объекты в надсолевых отложениях, промышленная нефтеносность которых доказана на близлежащих месторождениях (Узеньское, Спортивное, Куриловское и др.). Структурные ловушки надсолевых залежей УВС формировались в процессе соляного диапиризма: такого рода ловушки являются либо тектонически экранированными, либо примыкающими к боковым стенкам соляных куполов (рис.1).

В предыдущих исследованиях [Сокулина и др, 2023] для данной территории были разработаны критерии при ранжировании перспективных объектов в



1) Надсводовые – Кенкияк, Молдабек В., Шубаркудук, Орысказган, 2) Надсводовые на глубокопогруженных куполах – Прорва Центральная, Прорва Вост., Актобе, Королевская, Боранколь, 3) Экранируемые сбросом центрального грабена – Акжар, Каратобе Юж., Махат и др., 4) Экранируемые склоном соли (первый уступ) – Мунайлы, Кульсары и др., 5) Надкарнизные – Котырмас Сев., Чингиз, 6) Контролируемые вторым уступом соли – Кенкияк, Доссор, 7) Подкарнизные – Новобогатинск, Каратобе Ю., Доссор

▲ Рис. 1. Типы залежей УВС в надсолевых отложениях [Матусевич, 2013].

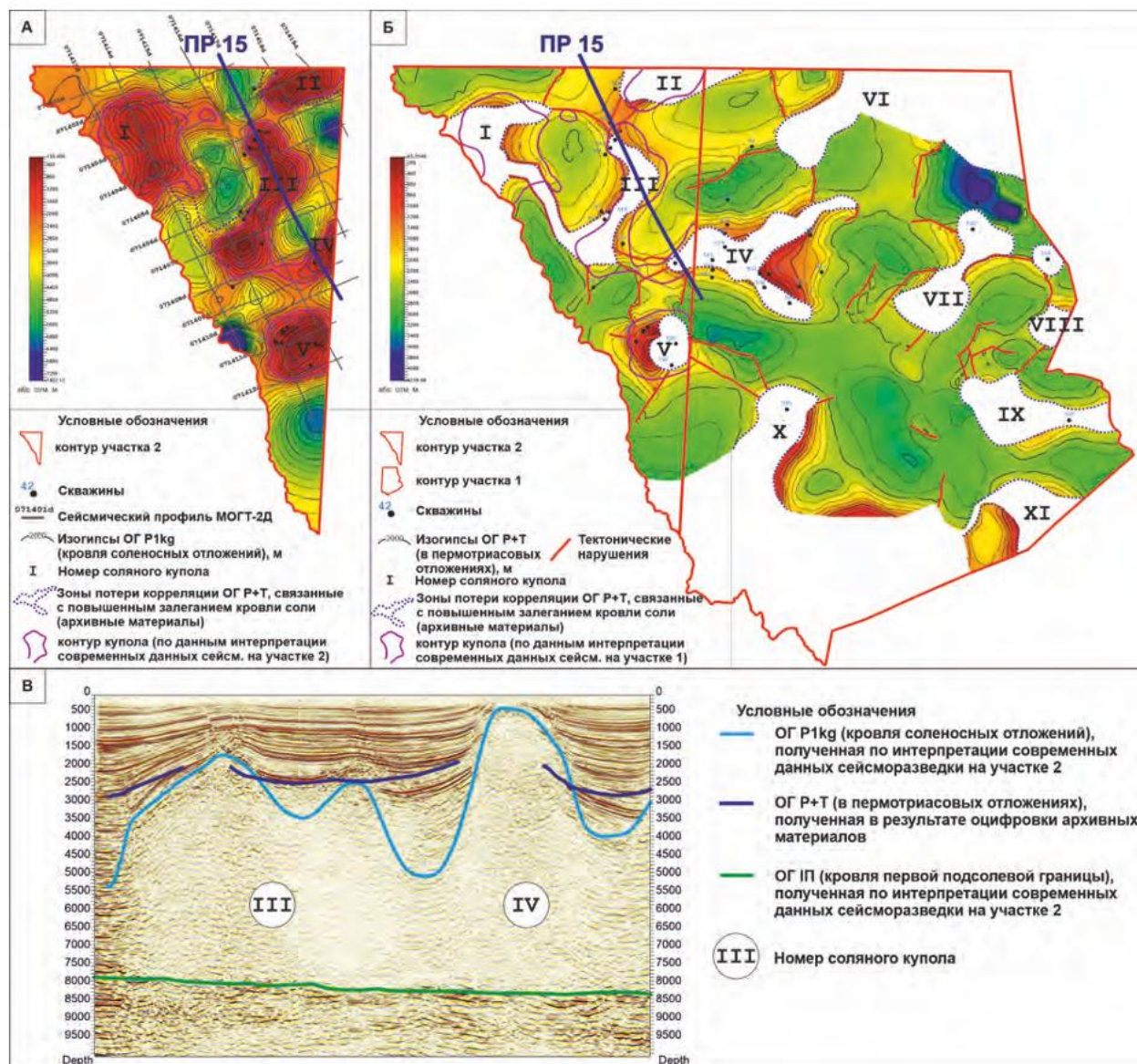
надсолевых отложениях. Одними из таких критериев являются:

- близость соляного купола, как надежного экрана для ловушек УВС по надсолевым объектам;
- близость глубоких мульд, что способствует улучшению генерационного потенциала УВС.

Данные

Исследуемый участок слабо изучен сейсморазведкой, небольшая его часть покрыта редкой неравномерной сетью сейсморазведочных профилей, отработанных более 50 лет назад. Современной съемкой покрыта лишь небольшая часть на севере участка (менее 10% от исследуемой площади работ). По сравнению с ним, смежный участок 2 (примыкающий к участку 1 с запада) характеризуется лучшей изученностью (весь участок покрыт равномерной сеткой современных сейсморазведочных работ). На рис.2 (Б) приведена структурная карта по отражающему горизонту Р+Т (в пермоториасовых отложениях), залегающим над

кровлей соленосных отложений. Данная карта была построена на основании данных сейсморазведки и структурного бурения в 70-х годах, и она покрывает территорию обоих участков недр. Непосредственно карты кровли соли построено не было. На рис. 2 (А) представлена структурная карта по ОГ Р1к (Iр) (кровля соленосных отложений) по участку 2, построенной по современным данным сейсморазведки, которая в дальнейшем будет взята за эталон для участка 1. В первом приближении данные карты хорошо сопоставимы между собой. Соляные купола находят свое отображение и на ретроспективных и на современных данных. Однако если проанализировать проекцию архивной оцифрованной поверхности Р+Т на современные глубинные разрезы на участке 2 (рис.2 (В)), можно сделать вывод, что она не всегда корректно укладывается на них, особенно, что наиболее принципиально в зонах примыкания к стенкам соляных куполов. Следует отметить, что данная поверхность не дает представления о глубинах



▲ Рис. 2. (А) Структурная карта по ОГ P1k (Ip), построенная по современным данным сейсморазведки на участке 2.
(Б) Архивная структурная карта по ОГ P+T, построенная на основании данных сейсморазведки и структурного бурения в 70х годах (В) Глубинный разрез по профилю 15.

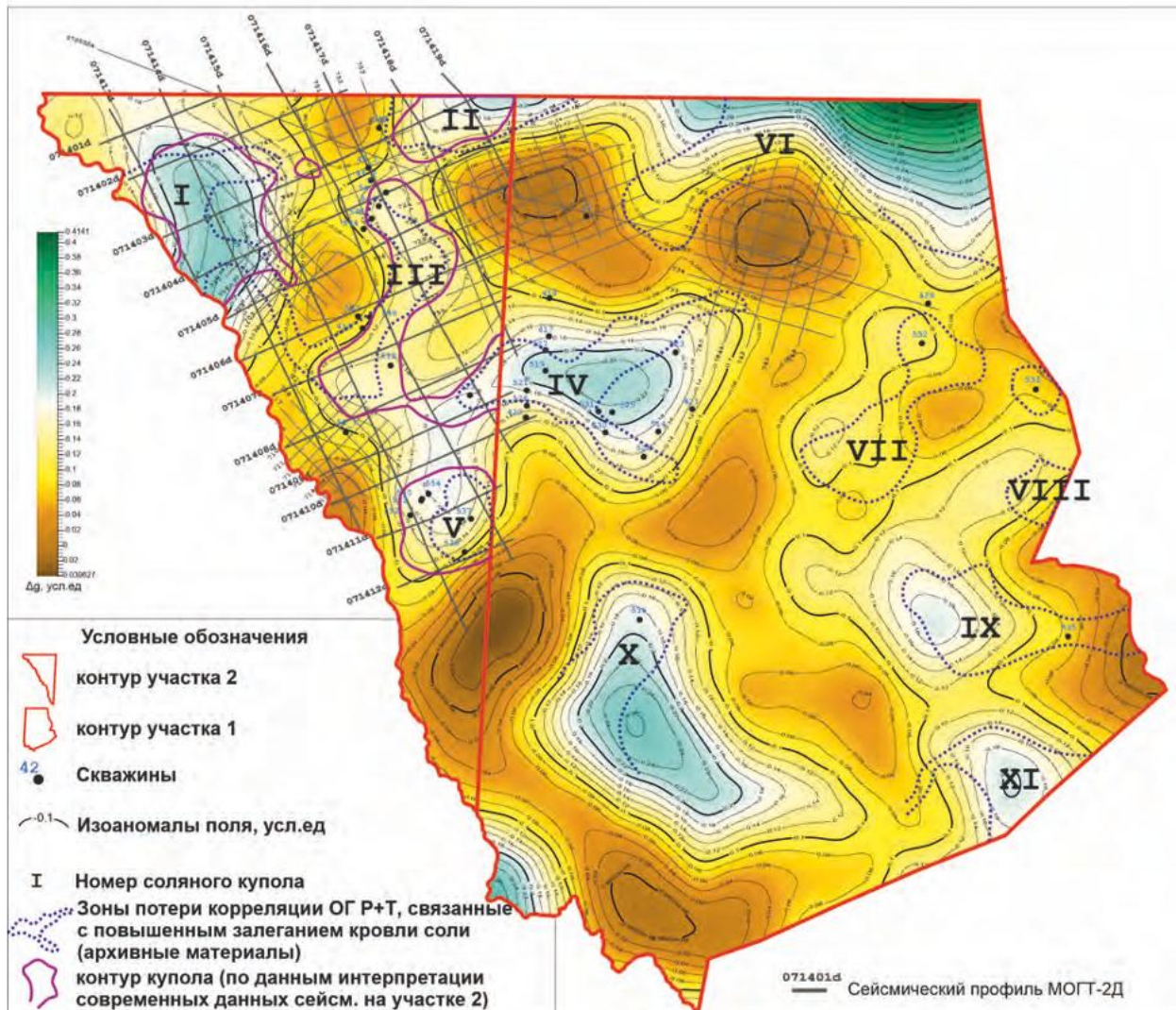
межкупольных мульд, знание о которых, как было отмечено выше, является одним из важных факторов при ранжировании перспективных поисковых объектов. Кроме того, южная часть изучаемого участка в целом не обеспечена никакими картографическими материалами, и на данном этапе не понятна конфигурация купола X.

Таким образом, основная цель исследования – локализация соляных куполов и межкупольных мульд на территории

исследуемого участка и прогнозирования глубин соленосных отложений при помощи комплексирования данных гравиразведки и сейсморазведки и использования участка-эталона.

Методика работ

Расчеты, приведенные в данной статье, были выполнены с помощью программного комплекса GravMagInv. Данный комплекс разработан в РФ [Чепиго Л.С., 2022] и включает в себя приложения GravMagInv2D и



▲ Рис. 3. Гравитационное поле Δg в редукции Буге.

GravMagInv3D, которые предназначены для двумерной и трехмерной интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки.

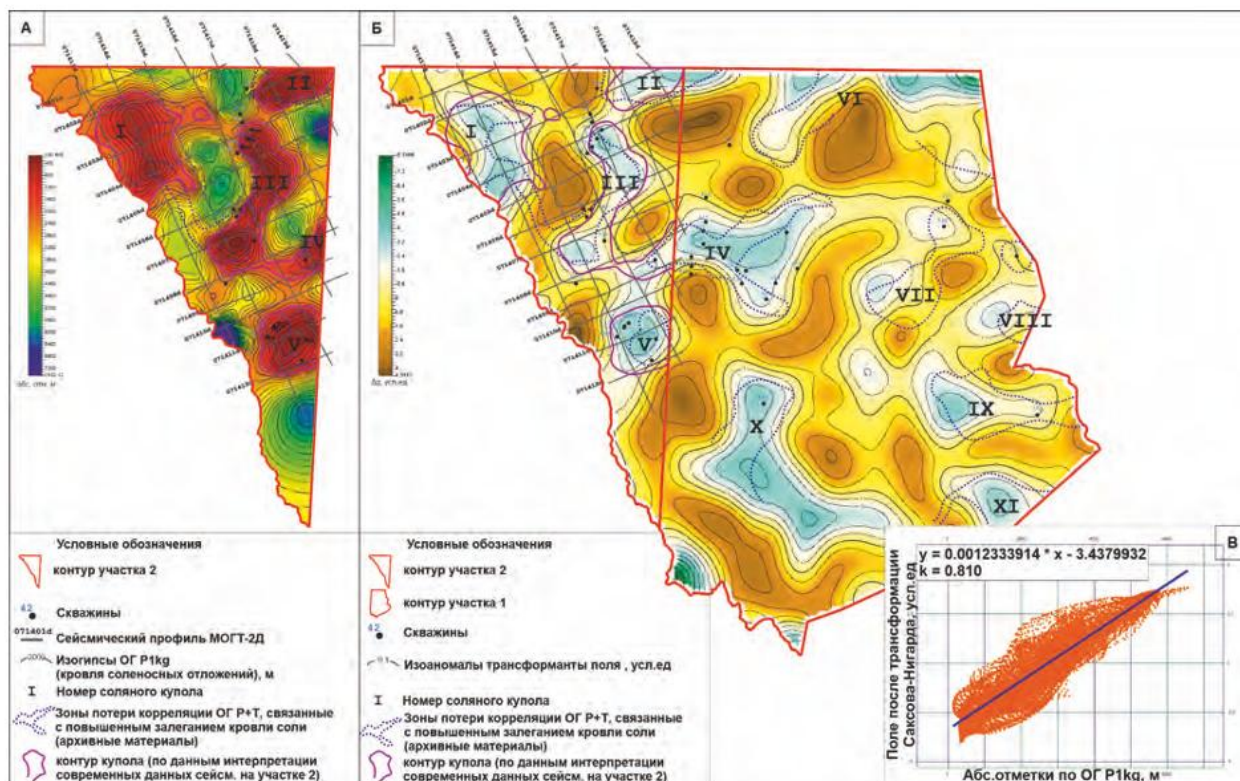
В GravMagInv реализованы возможности импорта и экспорта стандартных геофизических форматов (Grid, Z-Map, SEG-Y, Shape, Las и др.), расчета трансформант потенциальных полей, локализации особых точек с помощью вейвлет-преобразования [Кузнецов К.М., Булычев А.А., 2017] и деконволюции Эйлера [Thompson D.T., 1982], решения прямой и обратной задачи гравиразведки и магниторазведки для блочных и сеточных моделей, учета априорных данных при

автоматизированной инверсии [Лыгин и др., 2022], а также возможности для совместной инверсии данных гравиразведки и магниторазведки.

На первом этапе в программное обеспечение были загружены следующие исходные данные:

- Карты гравитационного поля Δg в редукции Буге масштаба 1:200000 и карта рельефа. Значения гравитационного поля в условном уровне.

На рис. 3 представлена карта наблюдаемого гравитационного поля Δg в редукции Буге. Даже без детального анализа видно, что плановое расположение основных куполов довольно хорошо



▲ Рис. 4. (А) Структурная карта по ОГ P1k (Ip). (Б) Карта трансформанты гравитационного поля по методу Саксова-Нигард ($R_2 = 10000$ м, $R_1 = 3000$ м) (В) Кроссплот связи между ними.

отображается в гравитационном поле. Однако некоторые купола, особенно на участке (VII, VIII), слабо проявлены в наблюдаемом поле.

Отсюда возникает необходимость в преобразованиях поля Δg , его трансформации, для локализации основных объектов поисков.

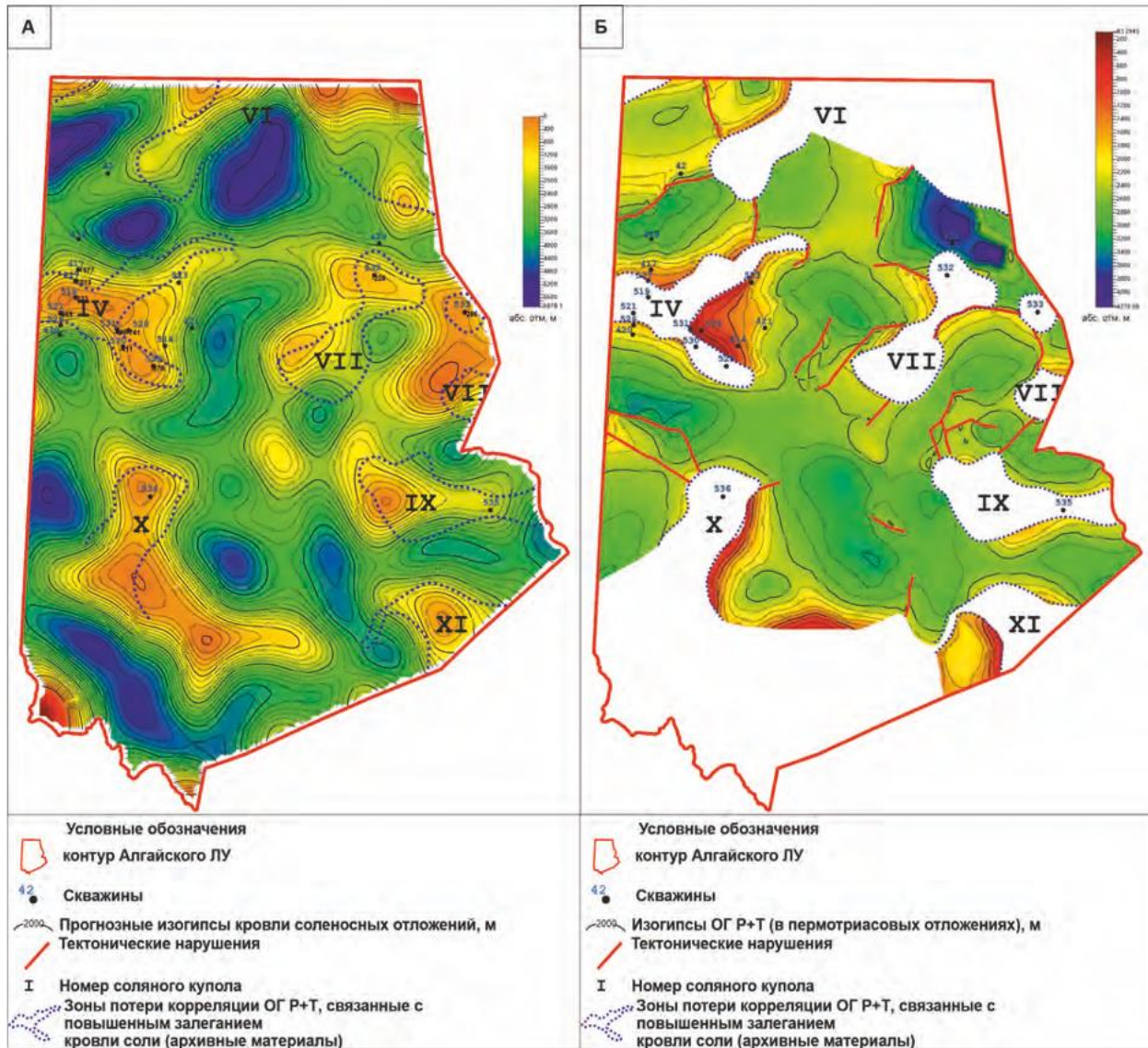
Трансформации являются наиболее распространенными математическими способами преобразования и разделения полей на региональную и локальную составляющие. [Блох, 2009]. При правильно выбранных параметрах разностотных трансформаций полученные компоненты могут оказаться весьма полезными на этапе геологической интерпретации

В рамках исследования был рассчитан ряд трансформант поля, реализованных в ПК GravMagInv: осреднение методом скользящего окна, фильтры Гаусса и

Баттерворта, трансформация Саксова-Нигарда, а также различные производные поля, в частности наклон градиента. Параметры данных трансформаций (радиусы и размер окна) были подобраны опытным путем. В качестве иллюстрации в статье приведена наиболее удачная из них (рис. 4).

На рисунке 4 (Б) приведена карта гравитационного поля Δg после трансформации Саксова-Нигарда. Также на рисунке 4 (А) приведена структурная карта по ОГ P1k по участку 2. Участок 2 будет являться участком-эталон, обеспеченным надежными данными сейсморазведки и будет использован для анализа и сопоставления с трансформантами гравитационного поля и оценки корреляционных связей.

Коэффициент корреляции между структурной картой и трансформантой Саксова-Нигарда составил 0.810.



▲ Рис. 5. (А) Прогнозная карта глубин по ОГ P1k (Ip).
(Б) Архивная структурная карта по ОГ P+T, построенная на основании данных сейсморазведки и структурного бурения в 70х годах.

Данная трансформация представляет собой разностный эффект осреднения исходного поля, проведенного в окружностях с двумя разными радиусами – большим R2 и малым R1. Тем самым, такая трансформация как бы ориентирует исследователя на вычленение неоднородностей, заключенных в интервале глубин, ограниченных R2 и R1 [Рыскин, 2017]. В проиллюстрированном варианте были подобраны радиусы R2 = 10000 м и R1 = 3000 м.

Финальным этапом работы является

применение выбранной регрессионной зависимости и использование ее для прогнозирования глубин кровли соленосных отложений на изучаемом участке 1. В качестве такой зависимости было использовано уравнение, полученное при сопоставлении структурной карты по кровли соли с трансформантой Саксова-Нигард. После пересчета прогнозная карта глубин была подсажена на отбивки имеющихся структурных скважин. Полученный результат представлен на рисунке 5 (А).

Можно отметить хорошее сопоставление основных структурных элементов (положения соляных куполов) с архивной структурной картой по ОГ Р+Т (особенно конфигурация купола IV, XI, а также северной части купола X). Разногласия в основном возникают в восточной части участка, где положение куполов отображено на прогнозной карте с некоторым смещением. Эти области будут требовать дальнейшего исследования и детального анализа, и не будут рассмотрены в рамках настоящей статьи. Особенно ценным является получение информации на юге участка, не обеспеченным данными сейсморазведки и бурения. На прогнозной карте удалось оконтурить замыкание купола X. Учитывая также близость глубоких мульд к югу от купола (прогнозные глубины ~ 4500 м), можно предположить, что данный купол и возможно связанные с ним надсолевые объекты могут представлять интерес с точки зрения дальнейшего изучения, и именно в данном участке площади наметить в дальнейшем сеть сейсморазведочных профилей.

Таким образом, в результате выполненной работы в условиях низкой геолого-геофизической изученности участка была получена дополнительная информация для анализа. Важно отметить, что рассчитанная прогнозная карта глубин может быть использована исключительно на качественном уровне с точки зрения районирования территории и помощи при размещении сети сейсморазведочных профилей на первоначальном этапе.

Заключение

В настоящей статье описан способ комплексирования геофизических данных с целью районирования территории для поиска ловушек УВС в условиях низкой степени изученности участка и при наличии поблизости эталонных участков с использованием программного обеспечения GravMagInv.

Данный способ можно охарактеризовать как «экспресс-метод», в котором были допущены многие условности. Следует отметить, что в данной работе представлен первый результат работы в программном комплексе GravMagInv с целью районирования территории, в дальнейших работах данный подход будет более детально проработан, что позволит расширить методику работ для данного круга задач и даст возможность также повысить точность построения глубинной модели.

Однако основной целью данной работы являлось районирования территории и локализация основных структурных элементов, в рамках подготовительного этапа к постановке новых сейсморазведочных работ на исследуемой площади.

Литература

1. Блох Ю.И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий: Учебное пособие. М: 2009, 231 с.
2. Кузнецов К.М., Булычев А.А. Анализ площадных потенциальных полей на основе вейвлетов Пуассона // Геофизика, издательство М.: Ред.-изд. центр ЕАГО; (Тверь: Полипресс), 2017, № 6, с. 25-32
3. Лыгин И.В., Чепиго Л.С., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Булычев А.А. Методика геоплотностного и геомагнитного интерактивного моделирования в зависимости от объема и состава априорной геолого-геофизической информации // Геофизика, издательство М.: Ред.-изд. Центр ЕАГО (Тверь: Полипресс) 2022, № 6, с. 57-70
4. Матусевич А. В.. Гравиразведка Прикаспийской впадины. Ливны : Изд. Мухаметов Г. В., 2013, 176 с.
5. Рыскин М. И. Локализация аномалий геопотенциальных полей на основе применения частотных и корреляционных преобразований// Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 52 - 57.
6. 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
7. Чепиго Л.С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022610137 GravMagInv, 10 января 2022.
8. Thompson, D. T. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, Geophysics, 1982, 47, 31–37

Подробнее об авторах



Сокулина
Ксения Борисовна

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент каф. Геофизики
СГУ им. Н.Г. Чернышевского,
директор по геологии,
разведке и разработке
месторождений обособлен-
ного подразделения в
г. Саратове ООО
«Эверест групп»



Хуснуллина
Гульназ Фанисовна

Главный геофизик,
ООО «ЦГМ НИР
Поволжья»



Сивожелезов
Евгений Викторович

главный геолог,
ООО «ТЕРРАПОД»



Дмитриев
Вячеслав Алексеевич

Геофизик,
ООО «ТЕРРАПОД»