

**Казанский Федеральный Университет**

**Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов<sup>1</sup>**

**Kazan Federal University,**

**Department of high-viscosity oils and natural bitumen**

**Выявление и изучение региональной и локальной компонент  
гравитационного поля, полученного методом аэрогравиразведки (на  
примере юго-восточной части Республики Татарстан)**

**Identification and study of the regional and local components of the  
gravitational field obtained by the method of airborne gravity survey (for  
example, the southeastern part of the Republic of Tatarstan)**

**Валиева Екатерина Андреевна, Valieva Ekaterina Andreevna**

магистрант кафедры высоковязких нефтей и природных битумов

Казань, Россия

E-mail: katena.valieva.99@mail.ru

### **Аннотация**

В работе подробно рассмотрен метод аэрогравиметрической съёмки; рассмотрены физические свойства горных пород, на которых основана гравиразведка; геологические задачи, решаемые с помощью аэрогравиразведки; методика выполнения работ, описано устройство аэрогравиметров; изложена методика обработки и интерпретации полученных материалов.

Объектом исследования является Юго-Восточная часть Татарстана.

Цель работы — изучение информативности и особенностей метода аэрогравиметрической съёмки на примере Южно-Татарского свода.

В процессе работы проводилась обработка и интерпретация данных, полученных при аэрогравиметрической съёмки.

В результате исследования изучено геологическое строение Южно-Татарского свода, получен график локальных аномалий, определена глубина залегания объектов.

**Ключевые слова:** гравиразведка, устройство аэрогравиметров, аэрогравиметрическая съёмка, Южно-Татарский свод, интерпретация гравиметрических данных.

## **Abstract:**

The paper considers in detail the method of aerogravimetric survey; the physical properties of rocks on which gravity exploration is based; geological problems solved with the help of aerogravimetric survey; the method of work, describes the device of aerogravimeters; describes the method of processing and interpretation of the obtained materials.

The object of the study is the South-Eastern part of Tatarstan.

The purpose of the work is to study the informativeness and features of the method of aerogravimetric survey on the example of the South Tatar arch.

In the process of work, processing and interpretation of the data obtained during the aerial gravimetric survey was carried out.

As a result of the study, the geological structure of the South Tatar arch was studied, a graph of local anomalies was obtained, the depth of the objects was determined.

**Keywords:** gravity exploration, the device of aerogravimeters, aerogravimetric survey, South Tatar vault, interpretation of gravimetric data.

## **Введение (Introduction)**

В настоящее время люди все чаще стали интересоваться формой Земли, ученые на протяжении многих лет изучают не только ее геологическое строение, но и выявляют различные геотектонические структуры. Для расчета плотностных неоднородностей и уклонений отвесных линий для внесения поправок при работе инерциальных навигационных систем, требуются обеспечение современными данными об аномалиях силы тяжести в исследуемых районах. На сегодняшний день в мире наблюдается повышенный интерес к аэрогравиметрии.

Аэрогравиметрия – это измерение аномалий поля силы тяжести Земли с борта самолета или вертолета. Аэрогравиметрические съёмки проводят с помощью специальных аэрогравиметров. Поле силы тяжести измеряют в движении со скоростью 100-200 км/ч на высоте 70-150 м. В качестве опорных используют несколько профилей, пересечение которых рядовыми профилями

позволяет учесть сползание нуля-пункта гравиметров. Погрешность определения  $\Delta g$  довольно велика и достигает  $\pm 1-2$  мГал.

Аэрогравиметрия — новый метод изучения территорий, перспективных на углеводородное сырье. С помощью карт, полученных после обработки данных, мы можем определить местонахождение различных полезных ископаемых, в частности нефть и газ.

Данный метод является сложной технической задачей, для решения которой требуется высокотехнологическое оборудование, специальное программное обеспечение, высококвалифицированные специалисты. Этот способ был впервые разработан как американскими, так и российскими исследователями на основе глобальной системы определения местоположения (GPS) для региональной геофизики. В отличие от традиционных гравиметрических съёмок аэрогравиметрия имеет ряд несомненных преимуществ: высокая экономическая эффективность (особенно при работах в труднодоступной местности – горные районы, заболоченная тундра, акватории морей и озер, транзитные зоны), быстрота получения материала и возможность изучения поля силы тяжести в трехмерном пространстве (на разных высотных уровнях).

Воздушная гравитация долгое время считалась «недостающим звеном» в геофизическом наборе инструментов. Действительно, она стала широко доступна только в последнее десятилетие. [1]

## **Материалы и методы исследования (Materials and methods of research)**

### *Особенности интерпретации геофизических данных, полученных аэрометодами*

Геологическая интерпретация аэрогеофизических данных осуществляется с помощью технологии геологической интерпретации комплексных аэрогеофизических данных. При этом основной упор делается на решение задач общегеологического содержания, нацеленных на изучение геологического строения всего разреза изучаемой территории – от фундамента до дневной поверхности.

Аэрогеофизические съемки, как правило, выполняются на ранних стадиях изучения территорий и их результаты служат основой для постановки наземных заверочных (оценочных) работ. Используемые интерпретационные технологии и алгоритмы должны сохранять работоспособность при дефиците и даже полном отсутствии априорной информации.

Обработка материалов съемки проводится по отработанной заранее схеме. Она позволяет с максимально возможной точностью учитывать возмущающие ускорения, которые воздействуют на гравиметр в полете. А также вычислять все необходимые поправки, увязывать данные и пересчитывать их в равномерную сеть для представления результатов съемки в виде цифровой модели поля силы тяжести в редукции Буге. [2]

Одним из главных этапов обработки является привязка аэропортков к единому уровню. Аэрогравиразведка не является дистанционным методом в том смысле, что получаемые аномалии пространственно относятся не к точкам земной поверхности, над которой проводится съемка, а к точкам, составляющим траекторию самолета в процессе измерений. Для последующего использования данных их необходимо привести к земной поверхности. Обязательным элементом любой гравиметрической съемки является процедура вычисления ее погрешности. В наземной гравиметрии основным параметром, определяющим качество съемки, является погрешность определения аномалии, для вычисления которой используются результаты повторных измерений на контрольных точках. В аэрогравиметрии качество оценивается в основном с использованием цифровой модели поля силы тяжести.

Важно учесть, что геофизическая интерпретация (ГФИ) предполагает выполнение трёх видов построений:

- 1) составление карт и графиков, иллюстрирующих наблюдаемые геофизические поля;
- 2) составление различных структурных карт, а также карт изопахит, характеризующих расчленение геологической среды на основные геологические комплексы;
- 3) оформление карт, отображающих послонные изменения геофизических

параметров, слагающих гидрогеологические структуры.

Важно правильно проинтерпретировать все полученные данные, чтобы в последующем можно было детально получить всю необходимую геологическую характеристику участка исследования.

Интерпретация данных является неотъемлемой частью геофизических исследований, так как большинство геологических процессов можно объяснить только после получения конкретных данных и сравнить их с установленными эталонами в том или ином районе.

Какие геологические задачи может решать метод аэрогравиразведки: Высокое качество полевых материалов, полученных с помощью аэрогеофизической съемки, позволяет получать информацию о весьма тонких элементах строения осадочного чехла. Тем не менее, определяющим для методов является изучение строения кристаллического фундамента, потому что, лишь исключив из исходных полей составляющую, обусловленную влиянием фундамента, можно выявлять гораздо менее контрастные особенности полей, связанные с образованиями осадочного чехла. Метод аэрогравиразведки, в основном, предназначен для региональных исследований, то есть для поиска и оконтуривания крупных и очень крупных геологических структур, реже локальных. Куполовидные платформенные поднятия, к которым нередко приурочены месторождения нефти и газа, отличаются малой амплитудой и большой глубиной залегания и поэтому трудно выявляемы гравиразведкой. Однако применение высокоточных гравиметров позволяет вести разведку и этих структур, выделяемых слабыми отрицательными аномалиями за счет разуплотнения пород над поднятиями. [3]

## **Результаты (Results)**

### *1. Входные данные*

Входные данные представляют собой сеть наблюдений по методу аэрогравитационной съёмки. Сеть наблюдения неравномерная; есть участки как с низкой, так и с высокой плотностью точек наблюдения. Среднее расстояние между пикетами 5 км. Масштаб съемки 1:200000. Сеть покрывает юго-восток

Республики Татарстан, почти от северной границы РТ, включая всю территорию Ромашкинского месторождения, с выходом на территории Оренбургской области и Республики Башкортостан (рис. 1).

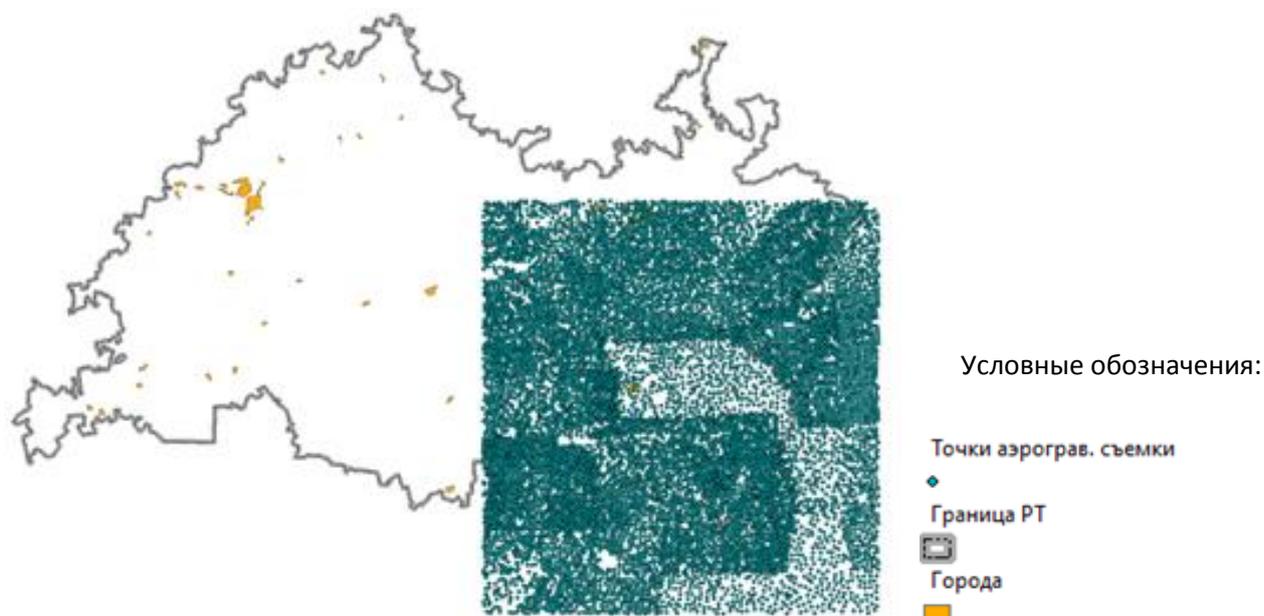


Рисунок 1 - Точки аэрограмметрической съёмки.

## 2. Методика обработки данных

### 2.1) Расчет поверхности наблюдаемого поля

Для расчета поверхности наблюдаемого поля был использован метод сплайн (рис. 2.1) .

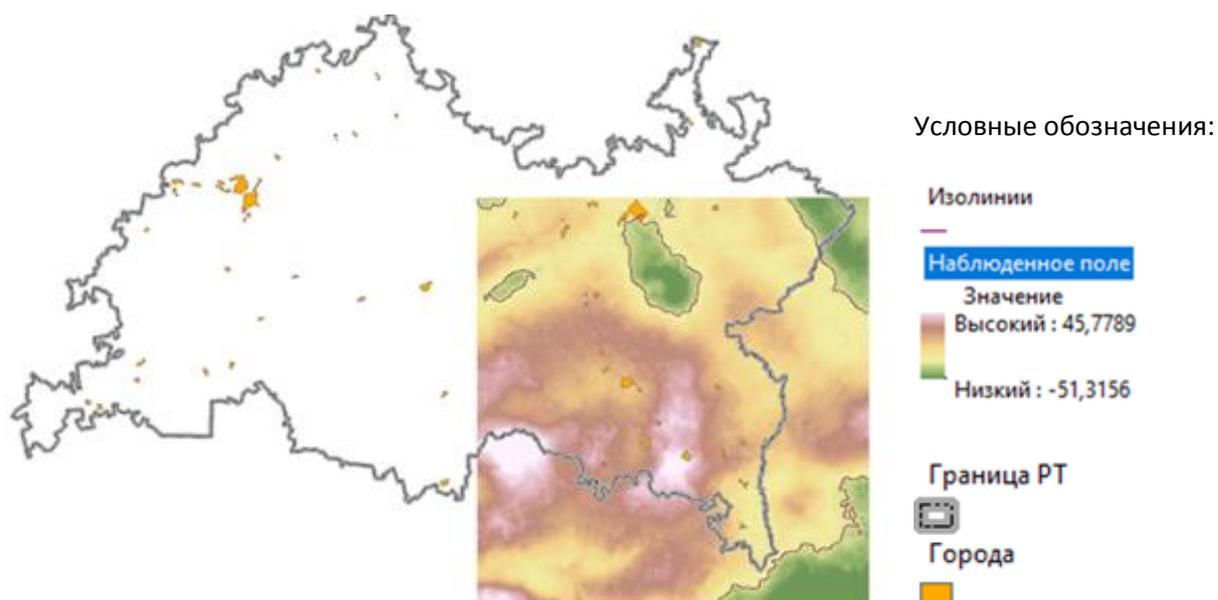


Рисунок 2 - Интерполяция сплайн

Инструмент Сплайн использует метод интерполяции, который, используя математические функции, оценивает значения и сводит к минимуму общую кривизну поверхности, что делает ее более сглаженной. Он устанавливает математическую функцию на определенное количество ближайших входных точек при прохождении через опорные точки. Такой метод лучше использовать для несильно меняющихся поверхностей, таких как рельеф и поверхности потенциальных геофизических полей.

В программе ArcGis используются два метода построения сплайнов:

- а) *регулируемый (Regularized)* - создаёт сглаженную, постепенно меняющуюся поверхность со значениями, которые могут выходить за пределы диапазона опорных точек.
- б) *натяжной (Tension)* - контролирует жёсткость поверхности в соответствии с характером моделируемого явления. Он создаёт менее сглаженную поверхность со значениями, но вычисленные значения ячеек ближе к диапазону замеров.

Был использован тип сплайна *натяжной*, с параметром количества точек равным 12. Данный параметр определяет количество точек, используемых в вычислении каждой интерполируемой ячейки. Чем больше входных точек, тем более сглаженной будет выходная поверхность и тем больше времени займёт обработка выходного растра.

Увеличив размер выходной ячейки с 300 до 500 м, я получила наблюдаемое поле с более сглаженной поверхностью.

Далее наблюдаемое поле было разложено на региональную и локальную компоненты.

## *2.2) Расчет поверхности регионального поля*

Региональная компонента не зависит от локальных источников аномальных масс и описывает наиболее общие тенденции поведения гравитационного поля. Поэтому мы будем использовать интерполяцию по методу тренд. Мы строим несколько поверхностей тренда (полиномы разной степени) и выбираем лучшую из них.

По мере увеличения порядка (степени) полинома поверхность становится все более сложной, но это не всегда позволяет получить наиболее подходящую

поверхность. В своей работе я использовала линейный тренд (LINEAR). По данному методу интерполятор поверхности тренда создает растр из значений с плавающей точкой. Что позволяет нам контролировать порядок полинома, используемого для подбора поверхности. Качество тренда мы можем отследить по полученным значениям хи-квадрата и среднеквадратической ошибки (RMS). Наилучшим считается тренд с наименьшими значениями хи-квадрата и RMS. Чтобы выбрать более подходящий тренд, я построила два графика зависимости хи-квадрат (рис.3) и RMS (рис.2.3.) от степени полинома.



Рисунок 3 - График зависимости хи- квадрат от степени полинома

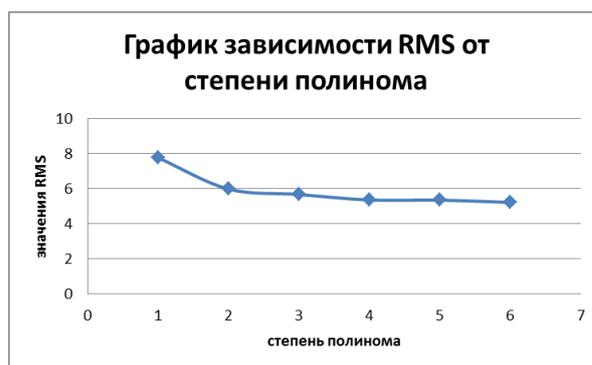


Рисунок 4 - График зависимости RMS от степени полинома

По полученным графикам, можно сделать вывод, что наиболее подходящей является поверхность тренда третьего порядка (рис.5).

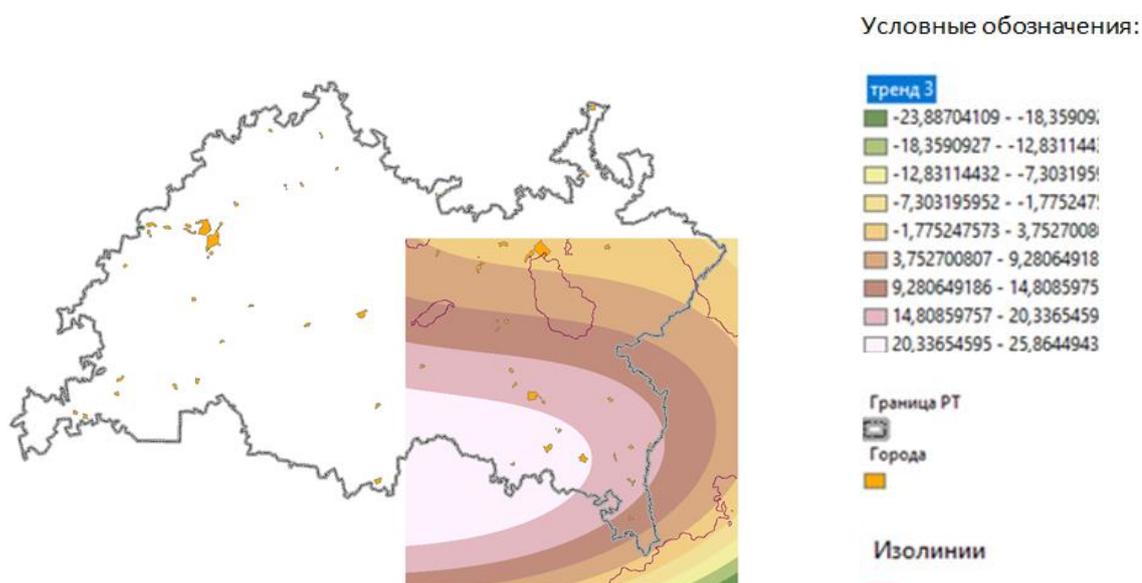


Рисунок 5 - Поверхность тренда 3-го порядка

Помимо метода тренда, региональная компонента также может быть вычислена с помощью фокальных функций (осреднение с помощью скользящего окна). С помощью функции окрестности мы выполняем операцию осреднения, которая вычисляет выходной растр, где значением для каждой выходной ячейки является функция значений всех входных ячеек, которые находятся в заданной окрестности вокруг этого места. За счет того, что мы выбираем окрестность в виде прямоугольника, мы имеем право изменять как высоту, так и ширину в единицах измерения карты. Если тип значений входного растра – числа с плавающей точкой, то необходимо выбрать тип статистики MEAN, который позволяет вычислить среднее значений ячеек окрестности. С увеличением высоты и ширины окна осреднения, мы получаем карты с более осредненными значениями и, соответственно, более сглаженные поверхности. (рис.6).

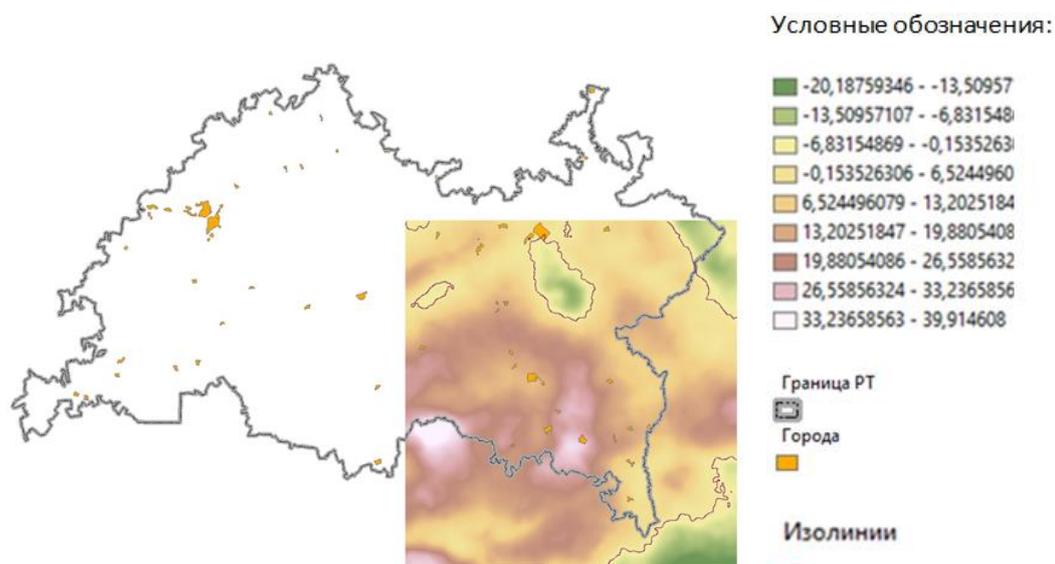


Рисунок 6 - Карта, полученная методом скользящего окна (осреднение скользящего окна 5×5км )

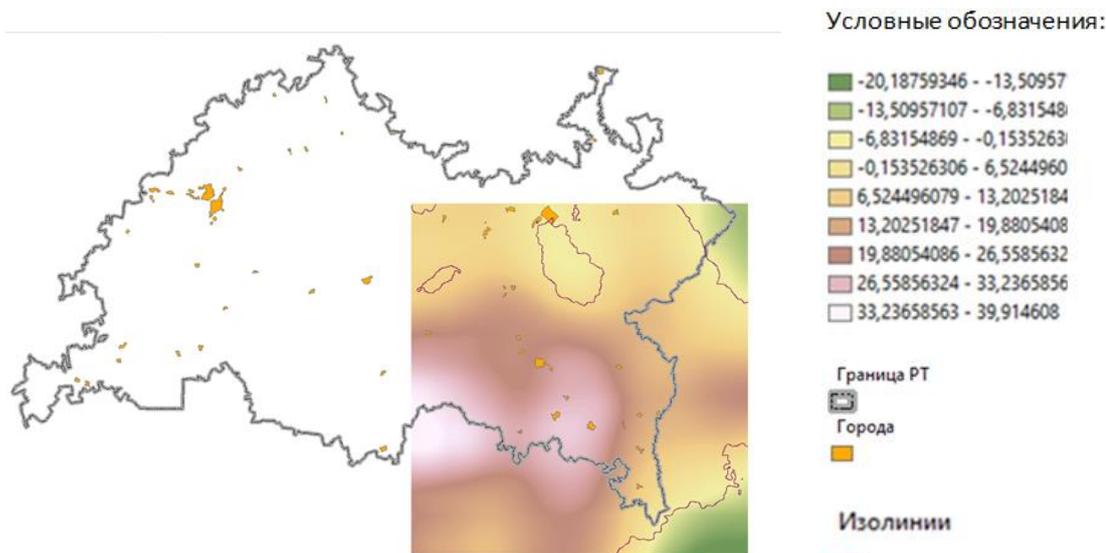


Рисунок 7 - Карта, полученная методом скользящего окна (осреднение скользящего окна 50×50км)

### 2.3) Расчет поверхности локального поля

Чтобы получить карту локального поля мы используем калькулятор растра, где вводим выражение: наблюдаемое поле – региональная компонента гравитационного поля.

На карте наблюдаемого поля был выбран профиль АВ, который предположительно затрагивает наиболее выраженные аномалии (рис.8). Длина профиля АВ составляет 265 км.

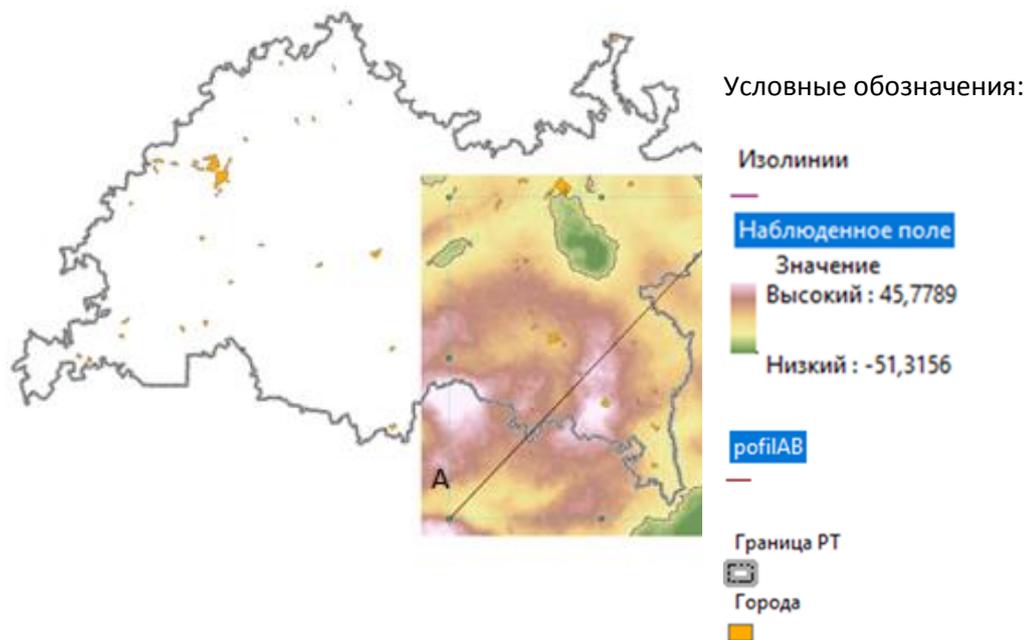


Рисунок 8 - Профиль АВ

## 2.4) Построение графиков $\Delta G$ вдоль профилей наблюдения

С помощью инструмента 3D Analyst я построила графики регионального поля и локального поля для каждой из сглаженных карт. Аномалия более простая для интерпретации в том случае, когда карта более сглаженная и не имеет мелких флуктуаций. (Рис.9 (а,б,в,г)).



Рисунок 9 а - График регионального фона (осреднение скользящего окна 5×5км)

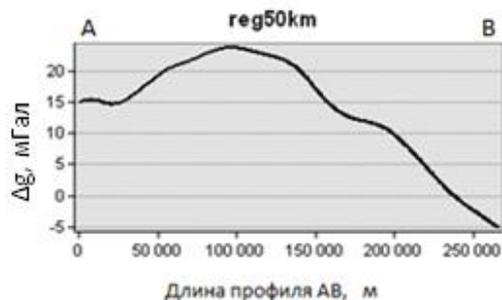


Рисунок 9 б - График регионального фона (осреднение скользящего окна 50×50км)

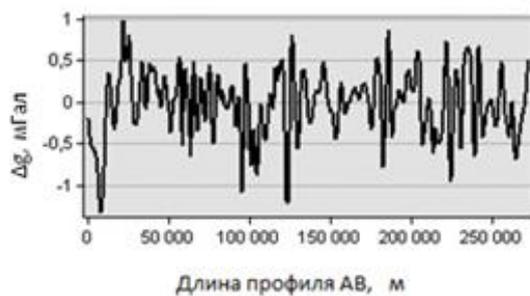


Рисунок 9 в - График локального поля (осреднение скользящего окна 5×5км)



Рисунок 9 г - График локального поля (осреднение скользящего окна 50×50км)

## 2.5) Количественная интерпретация графиков аномального гравитационного поля (решение обратной задачи)

Чтобы определить местоположение объекта, оценить глубину залегания центра тяжести, размеры, а также избыточную плотность аномалеобразующих объектов в геофизике, в частности в гравиразведке, проводят количественную интерпретацию данных, основанную на решении обратных задач. Решение такой задачи считается неоднозначным, так как одинаковые аномалии силы тяжести могут быть созданы геологическими объектами разной формы, плотности, размеров. Тем не менее, после изучения геолого-геофизического

строения района, отдельные аномалии можно количественно проинтерпретировать. Погрешность данного метода невелика и составляет примерно  $\pm 20-30\%$  при благоприятных условиях.

При изометрических аномалиях, длина и ширина которых должны отличаться не более чем в 2-3 раза, проводится аппроксимация шаром (сферой) или вертикальным столбом. Например, куполовидные структуры, массивные изометрические рудные залежи. Чем глубже залегает тот или иной гравитирующий объект, тем более расплывчатую аномалию он создает на земной поверхности.

За столбообразно вытянутые объекты мы можем считать те, у которых ширина и длина значительно отличаются и те, у которых глубоко залегает нижняя кромка. В этом случае нижняя кромка располагается на глубине в 5-10 раз больше, чем верхняя. Примером таких геологических структур могут служить кимберлитовые трубки, соляные купола, штокообразные залежи.

Для того чтобы определить более точное залегание интересующих нас объектов, мы воспользуемся графиком локальных аномалий силы тяжести. Наиболее подходящим является график локального поля, полученный при осреднении скользящего окна  $50 \times 50$  км. Количественную интерпретацию проведем с помощью метода характерных точек. Метод применяется для наиболее четких аномалий Буге (рис.10).

Центр тела, создающего аномалию, располагается под максимумом  $\Delta g_{\max}$ , за исключением уступа, который располагается там, где аномалия равна половине максимума. Абцисса максимума принимается за начало координат, а слева и справа от нее находятся абциссы  $x_{1/2}$  точек, для которых  $\Delta g$  равно  $\frac{1}{2} \Delta g_{\max}$ . Зная величины  $x_{1/2}$  можно определить глубину залегания тела для интересующего нас объекта. (табл. 1.) [1]

Таблица 1. Формулы для вычисления глубины залегания объекта

Аппроксимируемый объект	Шар	Цилиндр	Столб
Глубина залегания	$1,305x_{1/2}$	$x_{1/2}$	$1,7x_{1/2}$

Определив глубину залегания, можно найти избыточную массу по формуле:

$$M=V(\sigma-\sigma_0), \text{ где} \quad (1)$$

$M$  – избыточная масса,  $V$  – объем образца

$\sigma$  – аномальная плотность, равная разности плотностей изучаемого тела и вмещающих объектов [ $\text{г}/\text{см}^3$ ]

$\sigma_0$  – плотность вмещающих объектов [ $\text{г}/\text{см}^3$ ]

По данным измерений плотности образцов пород, взятых из керна скважин или обнажений, можно найти избыточную плотность, а затем определить поперечные размеры интересующих нас геологических объектов.

В случае, если плотность изучаемого геологического объекта значительно отличается от плотности вмещающих пород, эффективность гравиразведки повышается. Также нужно помнить, что аномальная плотность объектов должна быть тем выше, чем глубже они залегают. Если же нам изначально не известны плотность и форма тела, то при решении обратной задачи мы можем получить несколько решений. Основным приемом геологического истолкования данных гравиразведки является сопоставление гравиметрических карт и графиков с геологическими картами. Между гравиметрическими и известными геологическими аномалиями может наблюдаться корреляционная связь, что свидетельствует о тождественности этих геологических образований и выявленного источника гравитирующего поля.

Поскольку информации об избыточной плотности нет, интерпретация графика  $\Delta g$  заключалась только в определении глубины залегания центров аномалеобразующих объектов (табл. 2.2.). Всего на графике отчетливо выделяются 4 крупные аномалии (рис.2.8). Все аномалии положительные, следовательно, они создаются геологическими телами с повышенной плотностью.

Известно, что на территории восточной части Республики Татарстан глубина залегания кристаллического фундамента составляет от 1,5 до 2,2 км. Значения глубин залегания источников, представленных в таблице 3.2,

показывают, что объекты, образующие аномалии №№1,2 и 3 находятся вблизи границы «кристаллический фундамент- осадочный чехол». Возможно, эти аномалии образуют крупные приподнятые блоки фундамента, которые разделены региональными разломами. Источник аномалии № 4 расположен ближе к дневной поверхности, и, вероятно, соответствует крупной положительной структуре осадочного чехла. Более точная интерпретация изученных аномалий невозможна без привлечения дополнительной геолого-геофизической информации о районе исследования.

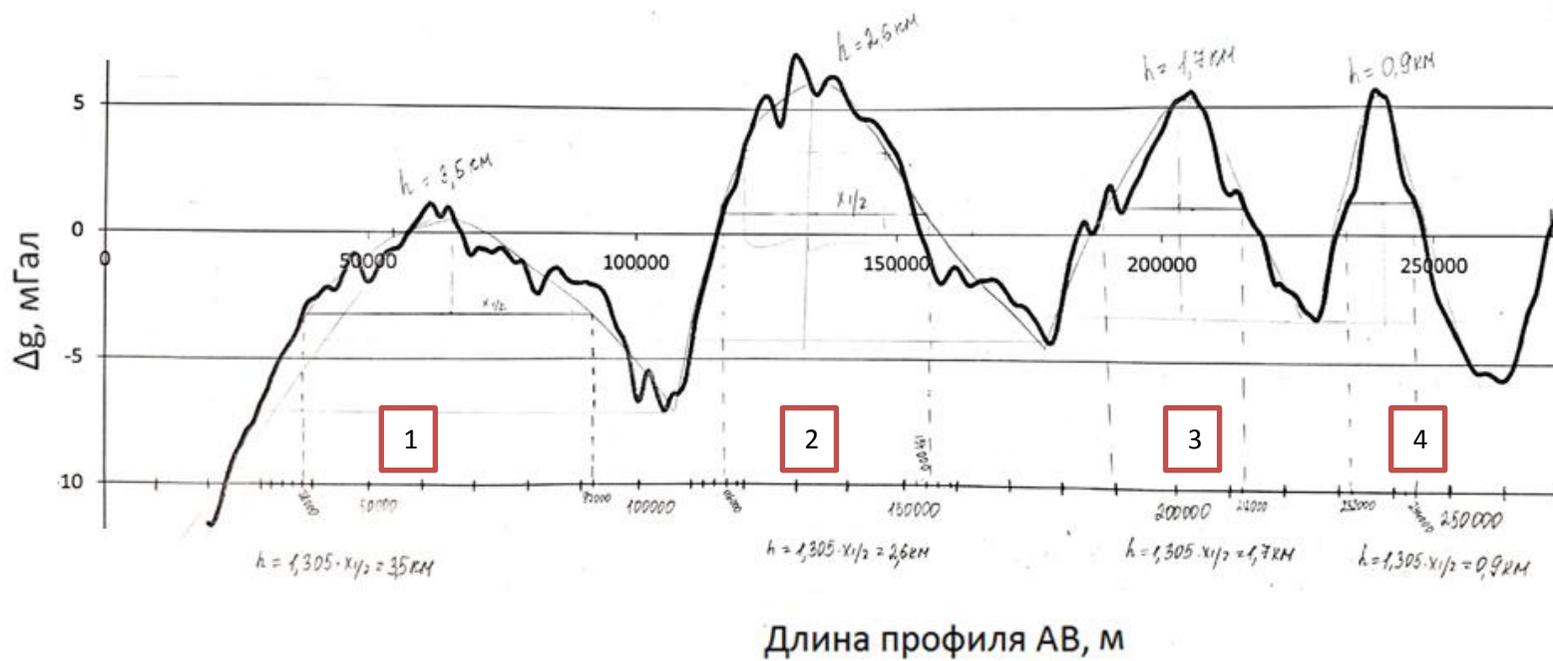


Рисунок 10 - График локального поля (осреднение скользящего окна 50×50 км)

Таблица 2 - Глубина источника аномалий

№ аномалии	Глубина залегания источника аномалии (км)
1	3,5
2	2,6
3	1,7
4	0,9

## **Заключение (Conclusion)**

В процессе выполнения курсовой работы мной были изучены теоретические основы метода гравиразведки, методика и техника выполнения полевых работ с помощью метода аэрогравиразведки. Также я изучила способ интерпретации данных аэрогравиразведки. Мной была выполнена самостоятельная работа: построены наблюденное, региональное и локальное поля, рассчитаны глубины залегания источников крупных аномалий, дано геологическое толкование выявленных аномалеобразующих объектов.

## **Список литературы (References):**

- 1) Хмелевской В.К. «Геофизические методы исследования земной коры». Учебное пособие – «Дубна»: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 1999г. – 184с.
- 2) Рекомендации по выполнению аэрогравиметрической съемки для создания современной геофизической основы Госгеолкарты 1000/3 и Госгеолкарты 200/2, Москва, 2014г.
- 3) Бабаянц П.С., Контарович Р.С. «Аэрогеофизические методы при поисках месторождений углеводородов» (публикация)