

УДК 551.247.1(541.1)

А. В. МАТУСЕВИЧ

СТРУКТУРА ЛОКАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ КАК ОСНОВА РАЙОНИРОВАНИЯ СОЛЯНЫХ КУПОЛОВ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ

Каспий маңы ойпатының тұзды тектоникаға байланысты, гравитациялық желісінің жергілікті ауытқуларын талдау нәтижелері сипатталады. Арнайы жасалған бағдарламалық жабдықтау көмегімен алынған, гравитациялық желісінің құрылымының нысаналық статистикалық сипаттамалары, ауытқуларды аудандандырудың тұзды-күмбезді типін жасауға мүмкіндік берді, қайсысын мұнайгаздық геологиялық аудандандыруға және тұзүстіндегі түзілімдердің мұнайгаздығының болашақтығын болжауға қажет болып келетін, тұзды күмбездерді аудандандыру негізі ретінде пайдалану ұсынылады.

Описаны результаты анализа локальных аномалий гравитационного поля Прикаспийской впадины, обусловленных соляной тектоникой. Объективные статистические характеристики структуры гравитационного поля, полученные с помощью специально разработанного программного обеспечения, позволили составить схему районирования аномалий солянокупольного типа, которую предлагается использовать как основу для районирования соляных куполов, необходимого для нефтегазогеологического районирования и оценки перспектив нефтегазоносности надсолевых отложений.

The results of local anomalies analysis of gravity field in the basin of the Caspian Sea region caused by salt tectonics are presented. Objective statistical characteristics of gravity field structure, obtained with the help of purposely developed software, made it possible to make a scheme of zonation of anomalies of salt dome type. This scheme is proposed to be used as a basis for salt domes zonation, which is necessary for oil and gas geological regionalization and oil and gas content estimation at the above salt deposits.

Прикаспийской впадине соответствует специфическое гравитационное поле, которое на карте

аномалий Буге выражено достаточно контрастно. Впадина отображается областью преимущественно отрицательных аномалий, окруженной положительным полем силы тяжести. В то же время здесь наблюдается изрезанная структура изоаномал, связанная с мозаичным чередованием локальных максимумов и минимумов. За пределами впадины изоаномалы приобретают плавные формы. Частотной фильтрацией не удается выделить единую аномалию, соответствующую Прикаспийской впадине, так как региональное ее поле имеет довольно сложное строение. В связи с этим предлагается гравитационное поле, отображающее Прикаспийскую впадину, называть *Прикаспийской гравитационной структурой*. Мы попытались отобразить общую структуру гравитационного поля Прикаспийской впадины на мелкомасштабном рисунке путем совмещения локальных и региональных аномалий (рис. 1).

Региональные аномалии силы тяжести связаны с глубинным строением Прикаспийской впа-

дины. Северо-западная бортовая зона впадины, являющаяся фрагментом древней материковой окраиной, принадлежащей Восточно-европейской литосферной плите, отображается Волжско-Оренбургской зоной региональных максимумов. Урало-Мугоджарская зона гравитационных максимумов обусловлена герцинскими горными сооружениями Уральского складчатого пояса. Актюбинский региональный минимум меридионального простирания отображает связь Прикаспийской впадины с Бельской ванной Предуральского краевого прогиба. Хобдинский и Аралсорский гравитационные максимумы обусловлены увеличением мощности базальтового слоя. Подробно геологическая природа региональных аномалий была рассмотрена ранее. Теперь остановимся на анализе локальной составляющей гравитационного поля, выделенной с помощью высокочастотной фильтрации. В мелком масштабе журнальной иллюстрации трудно отобразить структуру локального гравитационного поля. В неко-

¹Казахстан, 050010, Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а, Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева.

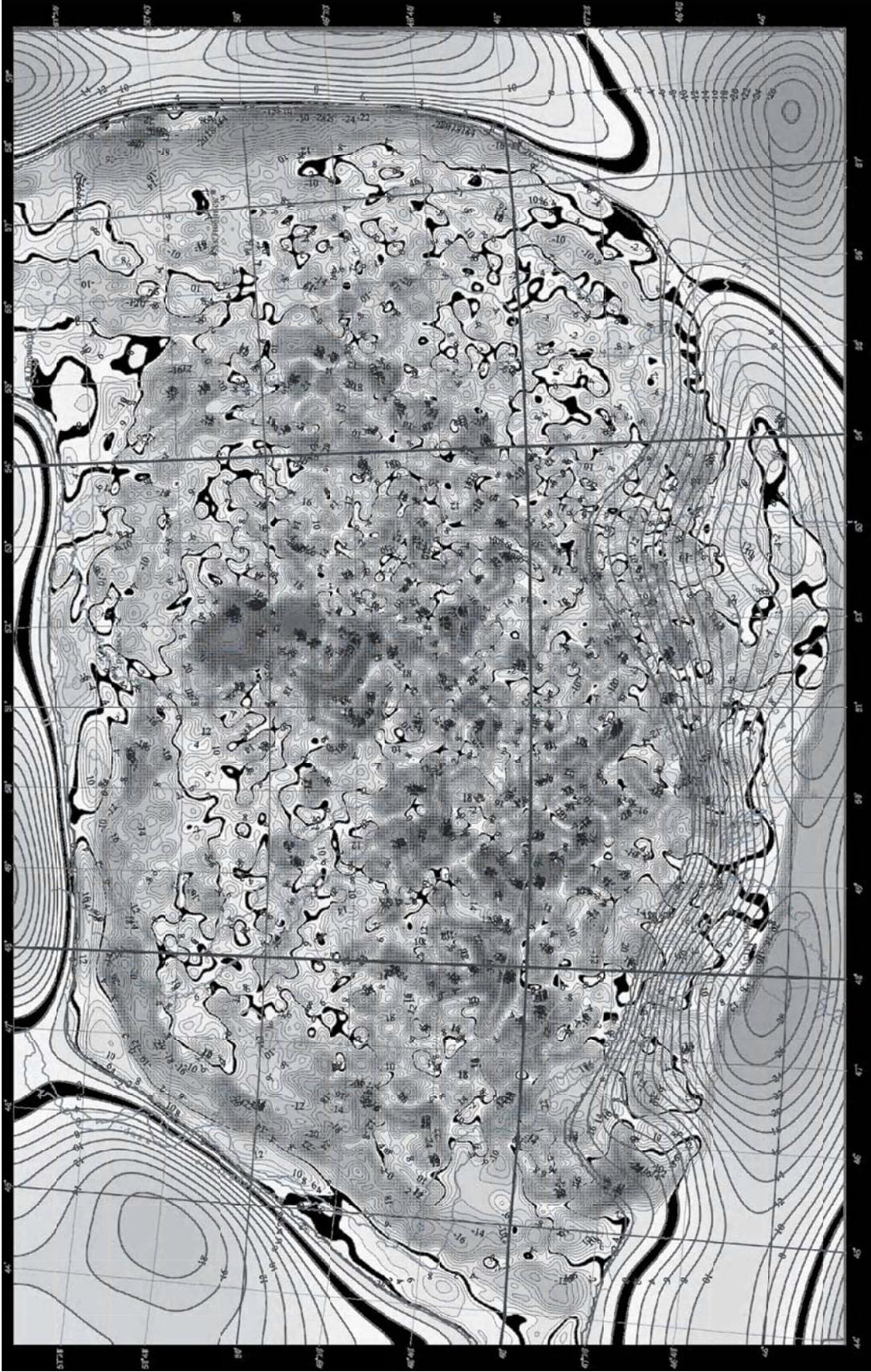


Рис. 1. Прикаспийская гравитационная структура

торой степени эта трудность преодолена показом аномалий только одного знака (рис. 2).

Геологической особенностью Прикаспийской впадины является наличие в ее разрезе мощной толщи пермских соленосных отложений, что привело к развитию соляной тектоники и обусловило разделение разреза на три структурно-тектонических этажа: докунгурский подсолевой, кунгурско-триасовый солянокупольный и юрско-неогеновый покровный. Пониженная плотность соленосной толщи относительно вышележащих надсолевых отложений и огромные, измеряемые километрами перепады рельефа кровли соли обусловили отображение соляных куполов в гравитационном поле интенсивными отрицательными аномалиями силы тяжести. Именно эти аномалии создают отмеченную ранее мозаичную структуру гравитационного поля. Солянокупольная природа локальных аномалий определяется практически однозначно. В связи с этим рассматриваемые локальные аномалии Прикаспийской впадины будем называть **аномалиями солянокупольного типа**.

Анализ аномалий солянокупольного типа в целях классификации их по амплитудам, простиранию, размерам, конфигурации в плане и по другим характеристикам, а также изучение закономерностей размещения разнотипных аномалий в Прикаспийской гравитационной структуре имеет прямое отношение к решению задачи районирования солянокупольных структур. В свою очередь, схема районирования соляных куполов крайне полезна для решения важнейшей задачи дальнейших нефтепоисковых работ – нефтегазогеологическому районированию Прикаспийской впадины. В связи с этим районирование гравитационных аномалий солянокупольного типа нами рассматривается полезной составной частью первого этапа нефтегазогеологического районирования надсолевых отложений.

Минимумы и максимумы локальной составляющей гравитационного поля Прикаспийской впадины имеют соизмеримые амплитуды, размах которых варьирует от нескольких до многих десятков миллигал. В широких пределах меняются и плановые размеры аномалий – от нескольких единиц до многих сотен квадратных километров. Конфигурации аномалий в плане весьма разнообразны: от простой овальной до замысловатой амебообразной, от линейной, вытянутой на

многие десятки километров, до дугообразной и даже кольцевой. Общее число локальных минимумов в Прикаспийской впадине в зависимости от применяемых параметров фильтрации колеблется от 1200 до 1700. Аналогично и число максимумов.

Из приведенных данных ясно, что изучение общих закономерностей структуры гравитационного поля Прикаспийской впадины является задачей чрезвычайно сложной. Нами сделана попытка районирования локальных гравитационных аномалий на основе использования ряда объективных признаков, в том числе характерных амплитуд аномалий, их осредненных площадей, конфигурации в плане, ориентировки и протяженности аномальных зон. Для формализации определения перечисленных характеристик был выполнен ряд специальных преобразований поля. Для анализа закономерностей изменения амплитуд локальных аномалий с помощью специальных программ были построены числовые модели двух поверхностей, огибающих (касающихся) максимумы и минимумы гравитационного поля. Очевидно, что разность между этими поверхностями должна отражать изменения амплитуд локальных аномалий силы тяжести, поэтому полученную таким образом карту можно назвать картой амплитуд локальных аномалий (рис.3). Отметим, что изолинии на первоначальном варианте этой карты имели сложные изрезанные формы. Для более однозначного отображения общих тенденций изменения амплитуд аномалий была выполнена генерализация этой карты (рис. 3), достигнутая осреднением в «скользящем окне» больших размеров. В связи с этим следует иметь в виду, что фактические амплитуды аномалий на ней значительно искажены. Так, максимальные амплитуды в соответствии с этой картой немногим превышают 50 мГал, в то время как фактически амплитуды многих аномалий достигают 80 мГал, а амплитуда минимума Шалкар относительно смежных максимумов составляет 120 мГал. Искажены и минимальные амплитуды – они существенно завышены. Несмотря на это, рассматриваемая карта объективно отражает региональные закономерности изменения амплитуд локальных аномалий.

Удобным оказалось использование раздель-

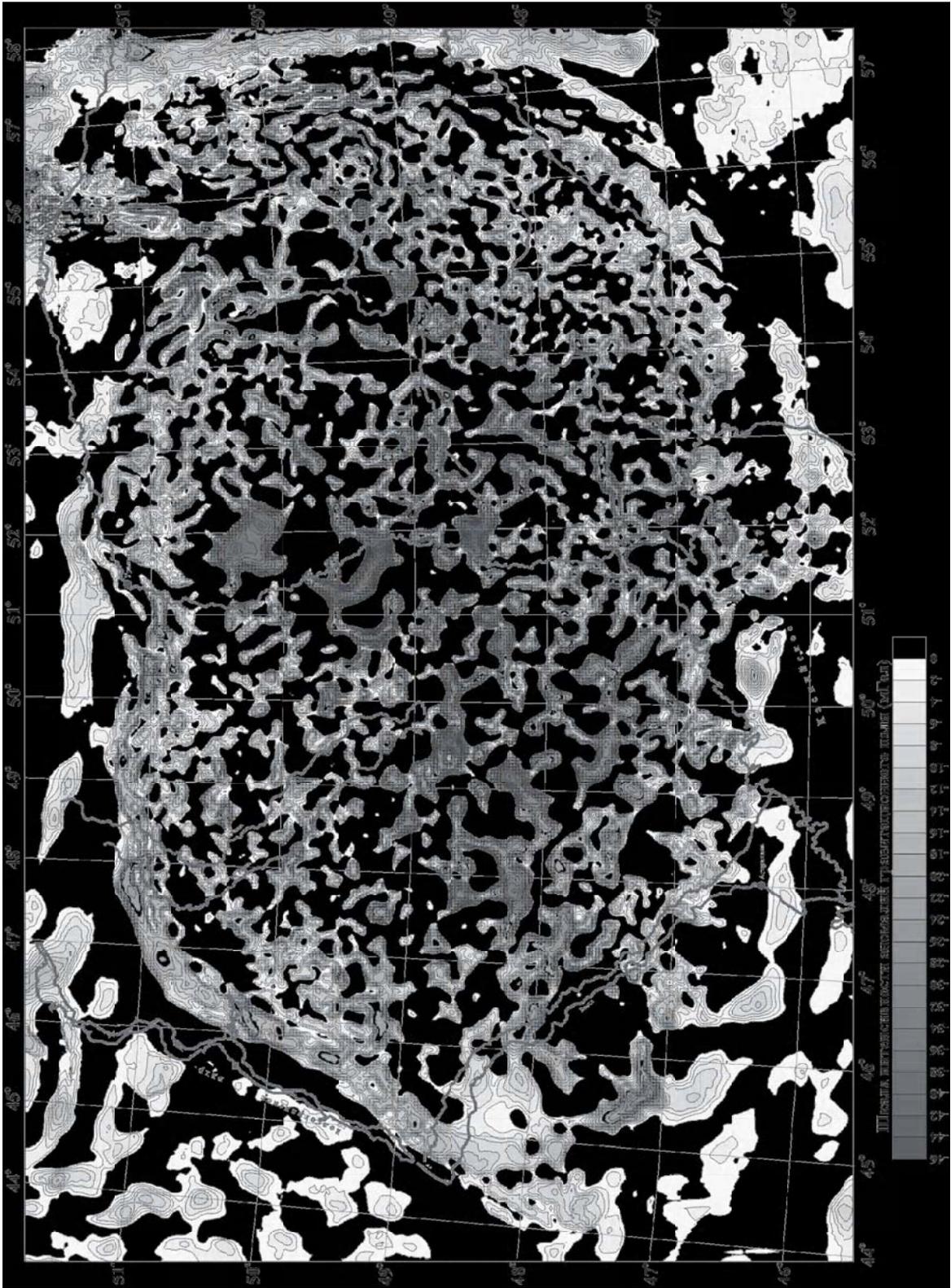


Рис.2. Прикаспийская впадина. Локальные минимумы гравитационного поля

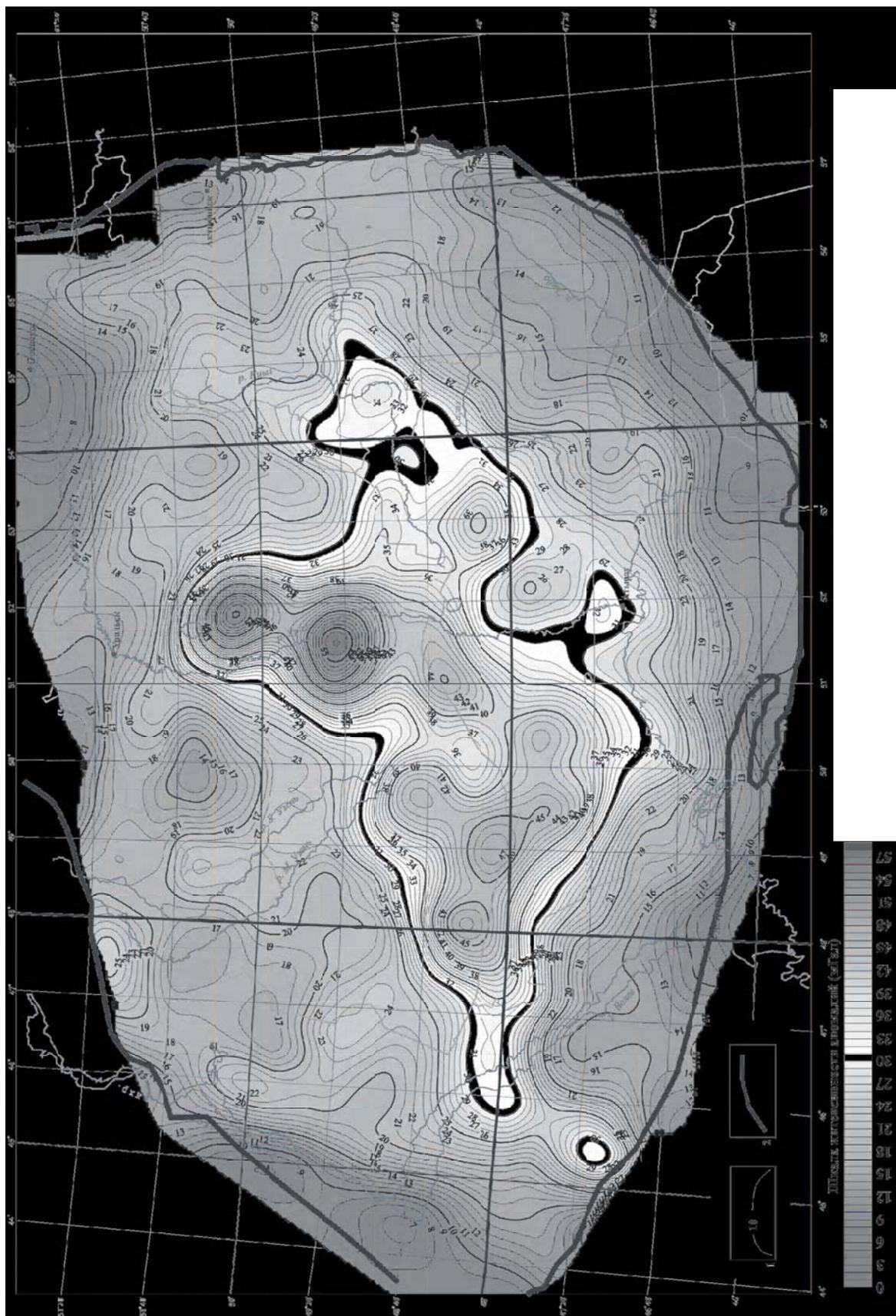


Рис.3. Прикаспийская впадина. Карта амплитуд локальных аномалий солянокупольного типа. 1 – изолинии амплитуд локальных аномалий; 2 – граница распространения соленосных отложений

ных карт минимумов и максимумов гравитационного поля. Другой характеристикой структуры поля локальных аномалий является плотность или частотность их экстремумов (число экстремумов на единицу площади). Для создания карты этого параметра (рис. 4) была составлена специальная программа вычисления числа минимумов (максимумов) в «скользящем окне». Нашлись и другие характеристики структуры поля локальных аномалий, например отношение суммарной площади минимумов к площади максимумов в «скользящем окне». Отметим, что эти параметры кроме формальной статистической характеристики структуры гравитационного поля имеют реальное геологическое значение – они отображают закономерности изменения размеров соляных куполов, преобладание развития положительных или отрицательных структурных форм. Использование перечисленных параметров позволило повысить объективность выполненного районирования гравитационного поля.

Для изучения структуры локальной составляющей гравитационного поля кроме установления закономерностей в изменениях амплитуд и плановых размеров аномалий важно учитывать упорядоченность ориентировки аномалий, преобладающее направление их осевых линий, взаимосвязь между аномалиями. Эта взаимосвязь проявляется в группировании относительно мелких аномалий в крупные аномальные зоны. Для Прикаспийской впадины наиболее характерны узкие протяженные зоны прямолинейной, дугообразной, полукольцевой и реже кольцевой формы. Задача трассирования линейных аномальных зон решается не всегда однозначно. Для повышения объективности выделения таких зон были выполнены анизотропные преобразования гравитационного поля. Такие трансформации были предложены Б. А. Андреевым и И. Г. Клушиным (1962), а в дальнейшем усовершенствованы и программно реализованы В. Б. Петровским. Анизотропные преобразования поля эффективны для выделения линейных аномалий, затушеванных региональным фоном и другими помехами. Они позволяют достаточно уверенно проследить протяженные зоны максимумов, минимумов и градиентов потенциальных полей.

На картах анизотропных трансформант про-

слеживаются многочисленные узкие протяженные зоны («линеаменты»). Для их трассирования использовались различные варианты анизотропных трансформаций. В качестве примера мы приводим один из вариантов анизотропных аномалий – аномалии, акцентирующие максимумы градиентов гравитационного поля (рис. 5). Кроме того, были использованы трансформанты, акцентирующие минимумы и максимумы поля. На основе всего пакета карт анизотропных аномалий составлена схема линеамент гравитационного поля, на которую вынесены оси только наиболее протяженных аномалий (рис. 6). Самый протяженный линеамент прослеживается вдоль западной и северной границы Прикаспийской гравитационной структуры. Он начинается в 100 км южнее волжской излучины, проходит вдоль левобережья Волги, в 250 км севернее Волгограда разворачивается в широтном направлении и простирается еще на 600 км. Общая протяженность северо-западного линеамента около 1000 км, непрерывность его нарушается лишь в районе г. Уральска, где стокилометровый участок выделенной оси смещается в южном направлении. Многочисленные линеаменты протяженностью во многие сотни километров, прослежены во внутренней области впадины и в ее юго-восточной прибортовой части. Отметим линейные зоны максимумов, которые на протяжении сотен километров не пересекаются локальными минимумами. Так как минимумами отображаются поднятия соли, то оси подобных максимумов могут быть границами разобщенных блоков солянокупольной тектоники. Среди подобных линеаментов отметим прямолинейные оси меридиональной ориентации, ограничивающие с запада зону минимумов от Жолдыбая до Чингиза или от Алексеевки до Ключевского на северо-востоке. К отдельной группе линеаментов, не вынесенных на схему, следует отнести менее протяженные, ориентированные ортогонально к основным. Нам кажется вполне очевидным, что выделенные оси аномальных зон имеют связь с разрывной тектоникой подсолевых отложений, оказавших влияние на развитие соляной тектоники. В связи с этим отметим, что анизотропные аномалии и составленная на их основе схема линеаментов

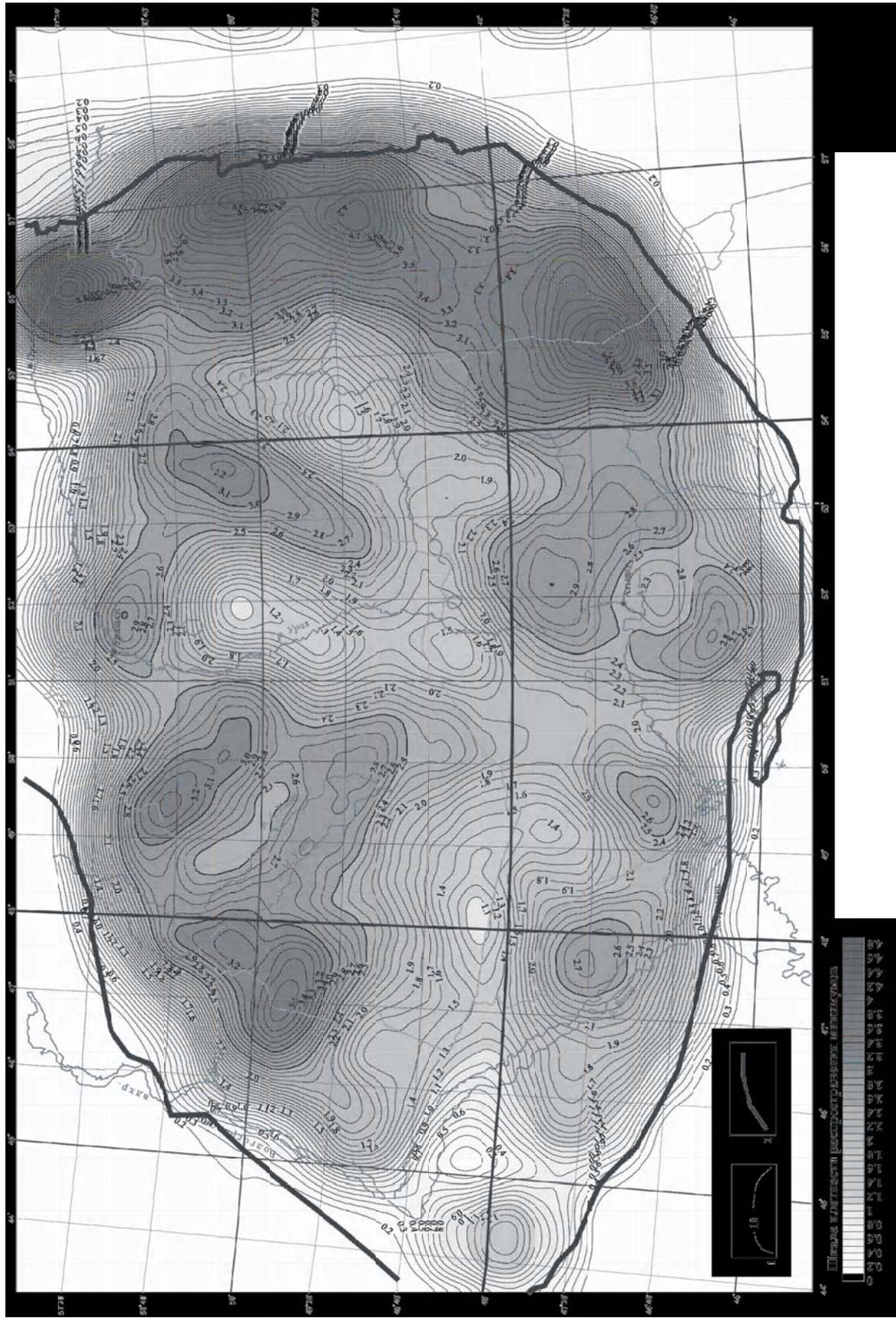


Рис.4. Прикаспийская владина. Плотность локальных минимумов (число минимумов на 1000 км²). 1 – изолинии плотности локальных минимумов; 2 – граница распространения соленосных отложений

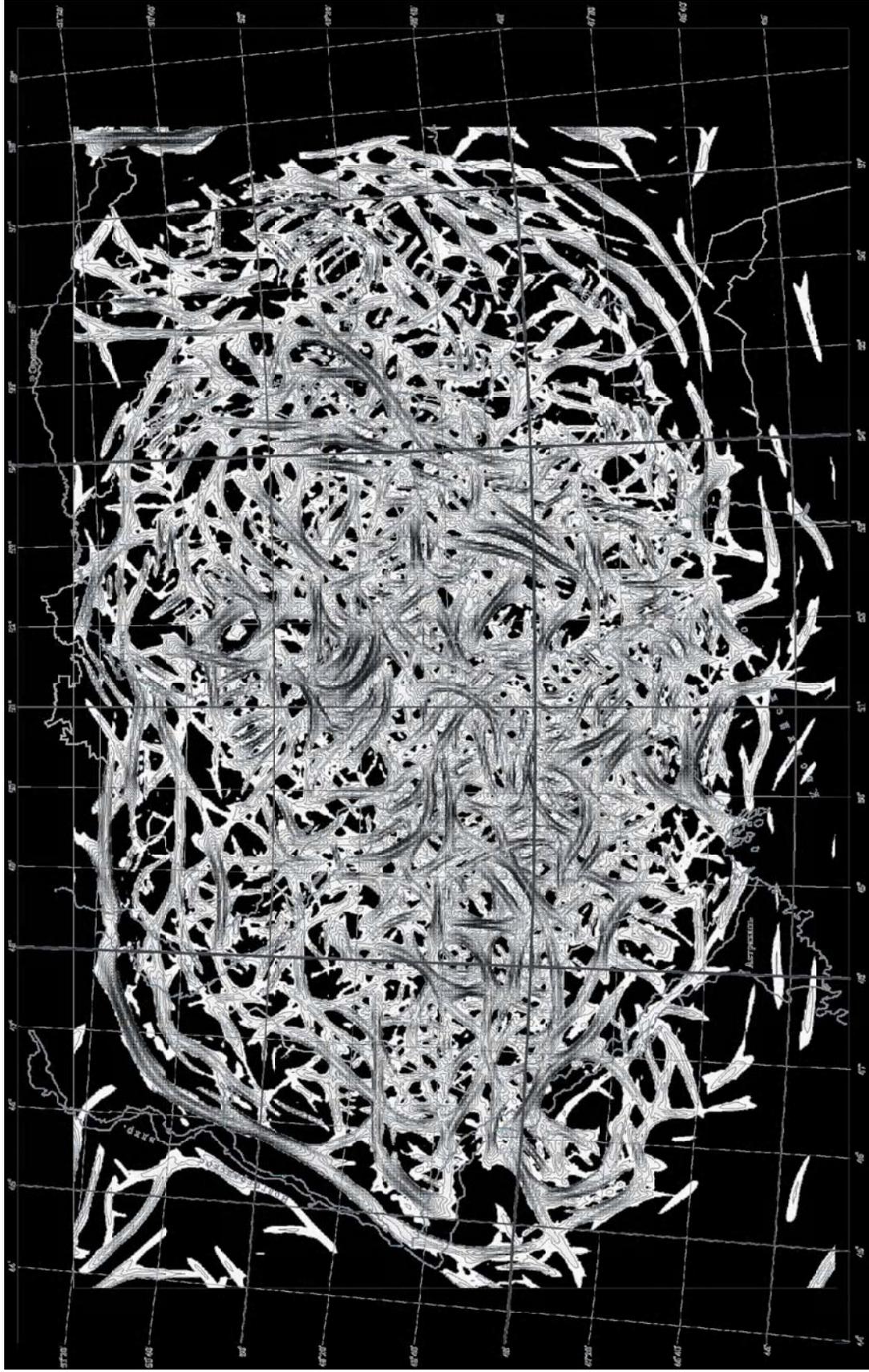


Рис. 5. Прикаспийская впадина. Анизотропная трансформанта гравитационного поля, акцент максимумов градиентов, тройная палетка 20x10, 16x8, 10x5 км, угол вращения палетки 5°

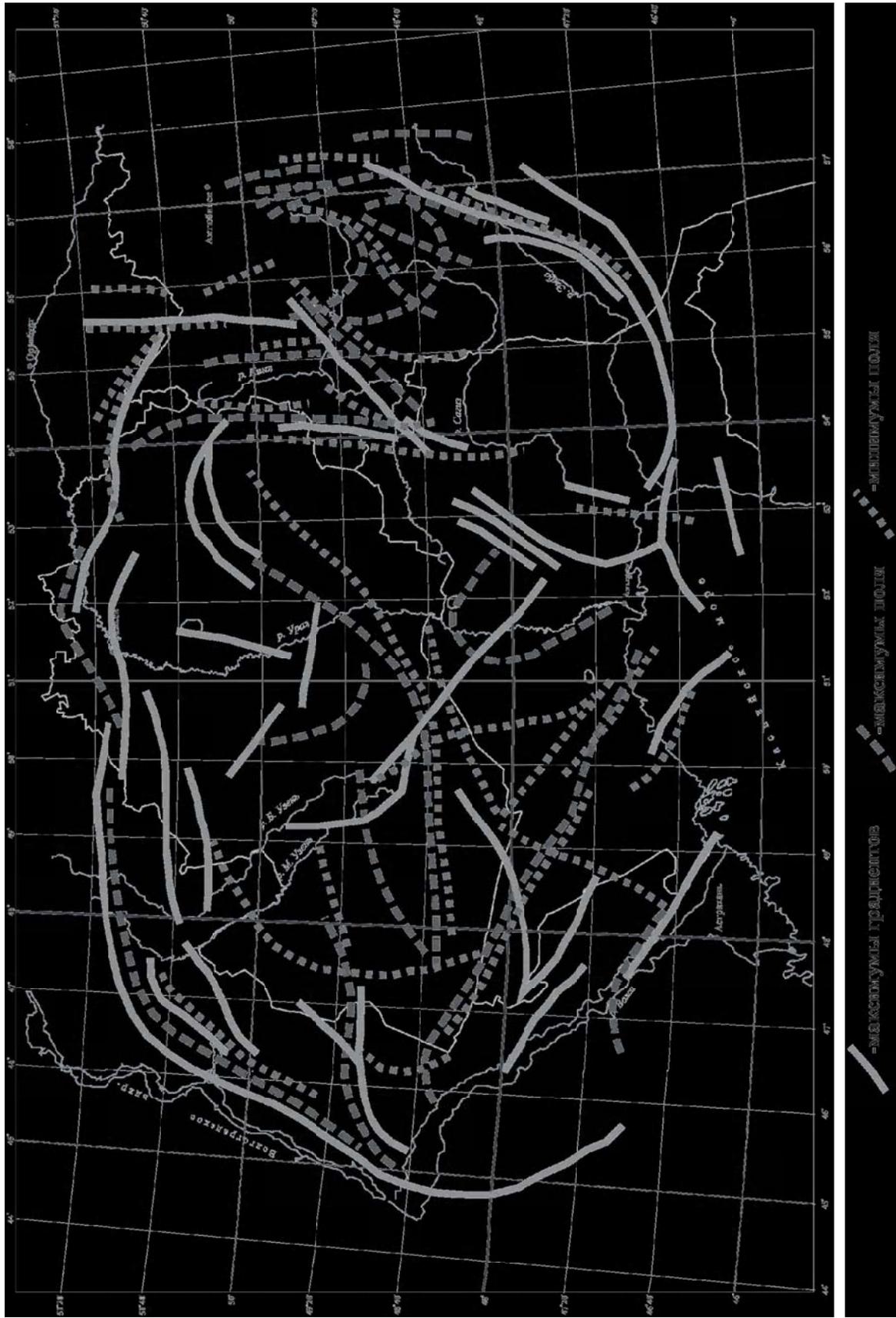


Рис. 6. Основные оси анизотропных аномалий

лезна не только для анализа структуры поля локальных аномалий, но может использоваться для изучения разрывной тектоники подсоловых отложений.

Итак, для районирования гравитационного поля мы располагали следующими исходными данными:

- картами локальных аномалий, полученными различными высокочастотными фильтрами, в том числе картами отдельных минимумов и максимумов;
- картой амплитуд локальных аномалий;
- картой частотности (плотности) локальных минимумов (число минимумов на 1000 км²);
- картой отношений площади минимумов к площади максимумов;
- картами анизотропных трансформант гравитационного поля (акцент максимумов, акцент минимумов, градиентов и др.);

Приведем краткое изложение совместного анализа этих данных, позволившего проследить ряд закономерностей в структуре гравитационного поля и выполнить районирование локальных аномалий силы тяжести.

В средней части Прикаспийской впадины по карте амплитуд локальных аномалий выделена Центральная область высокоамплитудных аномалий. Амплитуды локальных аномалий в Центральной области превышают 30 мГал. Ее можно разделить на три части – Шалкаро-Индерскую в центре, Песчано-Рынскую на западе и Сагиз-Уилскую на востоке. На юго-западе область высокоамплитудных аномалий ограничена относительно узкой полосой резкого снижения интенсивности аномалий от 40 до 20 мГал. Среднестатистическое число минимумов на 1000 км² менее двух.

В направлении к бортовым частям впадины амплитуды локальных аномалий уменьшаются. По изолинии 15 мГал проведена внешняя граница области аномалий средней интенсивности. В этой области четко оконтуриваются несколько зон повышенной плотности локальных минимумов. Наиболее крупная из них – Сагизская прослежена на востоке впадины от Атырау до Актюбинска и далее на север. Здесь наблюдается резкое уменьшение протяженности анизотропных аномалий. Нельзя не отметить крупную изометричную область повышенной частотности мини-

мумов на северо-западе впадины. Вдоль северного и северо-западного бортов впадины наблюдается преобладание площадей минимумов над площадями максимумов.

Вдоль южной и юго-восточной границы Прикаспийской гравитационной структуры от Астрахани через северную акваторию Каспия до Северной Эмбы локальные аномалии характеризуются пониженной интенсивностью, их ориентация в некоторой степени контролируется простиранием границы Прикаспийской гравитационной структуры. Между этой зоной и Центральной областью высокоамплитудных аномалий локальные аномалии характеризуются амплитудами средней интенсивности. Эти аномалии начинаются с низовий Волги и, охватывая северную акваторию Каспия, прослеживаются в северо-восточном направлении до р. Уил. Структура поля локальных аномалий здесь неоднородна. На юге выделена Нижневолжско-Североморская зона, в которой гравитационные минимумы объединяются в аномалии различной ориентировки, при этом преобладают два направления – субширотное, параллельное границе впадины, и ортогональное к ней. В некоторых аномалиях оси меняют ориентацию под прямым углом, нередко локализуются небольшие по площади обособленные изометричные минимумы. На востоке Нижневолжско-Североморская зона сочленяется с упоминавшейся ранее Сагизской.

Анализ структуры гравитационного поля позволил составить схему районирования локальных аномалий силы тяжести (рис.7). На схеме Прикаспийская впадина разделена на зоны, отличающихся по амплитудам, размерам в плане конфигурации и другим характеристикам локальных аномалий силы тяжести. Перечислим эти зоны:

1. Центральная зона крупных высокоамплитудных аномалий.
2. Волгоградско-Уральская зона линейных минимумов.
3. Северо-западная зона аномалий средней интенсивности
4. Юго-западная зона градиентов амплитуд аномалий.
5. Жамбейтинская зона аномалий неупорядоченной ориентации.
6. Жекендысай-Шингизская зона меридио-

нальных минимумов.

7. Юго-западная градиентная зона.

8. Нижневолжско-Североморская зона аномалий средней интенсивности.

9. Сагизская зона аномалий средней интенсивности.

10. Астраханско-Эмбинская зона малоамплитудных аномалий.

11. Актюбинская зона линейных аномалий.

12. Зона аномалий Предуральского прогиба.

Описанное районирование локальных аномалий Прикаспийской впадины выполнено на основе объективных характеристик структуры гравитационного поля практически без использова-

ния какой-либо дополнительной геолого-геофизической информации. Сопоставление результатов районирования гравитационного поля со строением солянокупольного этажа было использовано для анализа закономерностей соляной тектоники Прикаспийской впадины, выделения зон и областей развития куполов, отличающихся по амплитудам, конфигурации, ориентации и размерам в плане. Зоны на схеме районирования солянокупольных структур во многом совпадают с зонами локальных гравитационных аномалий. Здесь мы не будем приводить детальный анализ локальных аномалий в пределах выделенных зон, предполагая сделать это в специальной статье, посвященной районированию солянокупольных структур.