

УДК 550.312(-925.22)

A. V. МАТУСЕВИЧ[†]

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ АНОМАЛИИ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРИРОДА

Гравитациялық желісінде Каспий маңы ойпаты және оның айналасындағы ірі құрылымдар жеткілікті айқын бейнеленеді. Шөгінді қабаттан тыс желісі (ен алдымен пермь түзды қабатынан тыс), инверсияға тап болады және ойпат үстінде қарқынды аймактық максимум байқалады, қайсысы мобилизм негізінде жасалған бұл құрылымның пайда болу геодинамикалық нұсқасына сәйкес келеді.

В гравитационном поле Прикаспийская впадина и крупные структуры, окаймляющие ее, находят достаточно четкое отображение. Поле, редуцированное за осадочный чехол (в первую очередь, за пермскую соленосную толщу), претерпевает инверсию и над впадиной наблюдается интенсивный региональный максимум, что соответствует разработанной на основе мобилизма геодинамической модели возникновения этой структуры.

In the gravitational field the Pricaspian depression and large structures fringing it are represented rather clearly. The field reduced outside the sedimentary cover (first of all the Permian salt-bearing strata) undergoes inversion and very strong regional maximum is observed above the depression, suggesting that it is in agreement with the devised geodynamic model of this structure formation on the basis of mobilism.

Прикаспийская впадина является одним из наиболее глубоких осадочных бассейнов мира - глубина залегания фундамента в наиболее погруженной части впадины по данным региональных сейсмических исследований достигает 20 км. Многими исследователями Прикаспийская впадина рассматривалась как юго-восточная окраина Восточно-Европейской платформы, претерпевшая длительное прогибание, сопровождавшееся накоплением осадочных пород огромной мощности. Уже на ранней стадии геофизических исследований этого региона было сделано предположение об утонении гранитного слоя в центральной части впадины и об океаническом строении земной коры на этой площади. Последующими исследованиями подтверждено выклинивание гранитного слоя, замещение его слоем переходного состава ($V_r = 6,8$ км/с), под которым залегает собственно «базальтовый» слой ($V_r = 7,0 - 7,5$ км/с). Утонение гранитного слоя объяснялось его «базальтификацией» в результате регионального метаморфизма.

Новые геолого-геофизические данные и развитие мобилизма в геологии привели к разработке геодинамической модели возникновения При-

каспийской впадины (Я. А. Рихтер, 2003). В соответствии с этой моделью Прикаспийская впадина образовалась у континентальной окраины Восточно-Европейской литосферной плиты в результате заполнения осадками девонского океанического бассейна, изолированного придвижувшимися с востока герцинскими горными сооружениями Уральского складчатого пояса, а с юга надвиговыми структурами кряжа Карпинского и Устюртским блоком континентальной коры (Южно-Эмбинское поднятие). Рассмотрим соответствие такой модели гравитационному полю.

Прикаспийская впадина в гравитационном поле выделяется достаточно контрастно, по крайней мере, по двум признакам. Во-первых, этому региону соответствует область преимущественно отрицательных аномалий Буге, окруженная положительным полем силы тяжести. Во-вторых, на площади Прикаспийской впадины наблюдается мозаичное чередование локальных максимумов и минимумов, в то время как обрамляющие положительные поля характеризуются плавными формами. Назовем поле, отображающее Прикаспийскую впадину, *Прикаспийской гравитационной структурой*. Сразу же оговоримся,

[†]Казахстан. 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а, «Специализированное гравиметрическое предприятие» Комитета геологии и недропользования.

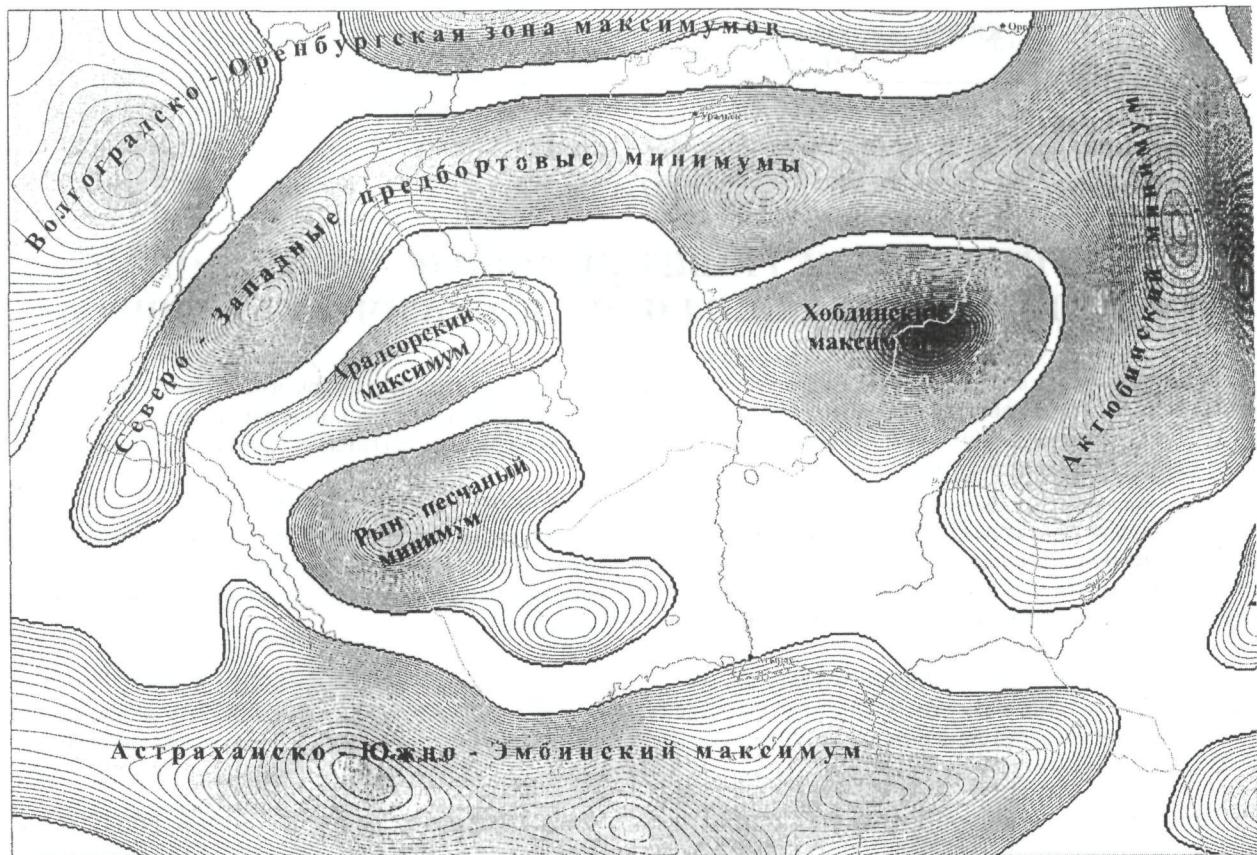


Рис. 1. Схема региональных аномалий

что совпадение границ Прикаспийской впадины и Прикаспийской гравитационной структуры не всегда однозначное и требует специального рассмотрения.

С помощью низкочастотной фильтрации были подавлены локальные аномалии на площади впадины и выделена региональная структура гравитационного поля (рис. 1). С запада рассматриваемый регион ограничен изометричным максимумом, восточная граница которого контролируется руслом Волги. На севере прослеживается широтная Волжско-Оренбургская линейная зона региональных максимумов, ограниченная на востоке Актюбинским меридиональным минимумом, который на севере соединяется с отрицательным гравитационным полем Предуралья. Восточная граница Прикаспийской гравитационной структуры четко обозначена линейной меридиональной полосой Урало-Мугоджарских гравитационных максимумов. Южная периклиналь аномалии слегка разворачивается на запад и имеет тенденцию к соединению с широтной Астраханско-Южно-Эмбинской зоной максимумов, ограничивающей рассматриваемый регион с юга.

Два интенсивных региональных максимума, Аралсорский на западе и Хобдинский на востоке центральной части Прикаспийской впадины, разделяют отрицательное поле на несколько региональных минимумов, которые широкой кольцевой полосой обрисовывают внутреннюю область впадины. Протяженная северо-западная зона региональных минимумов на востоке ортогонально сочленяется с широким Актюбинским минимумом меридиональной ориентации. На юге Волго-Уральского междуречья локализуется изометричный минимум, разделенный на два эпицентра. Северо-западная, наиболее интенсивная часть минимума охватывает область Рын-песков, а юго-восточная приближается к береговой линии Каспия.

Сопоставляя региональное гравитационное поле с описанной геодинамической моделью Прикаспийской впадины и крупными структурами, обрамляющими ее, легко заметить их хорошую согласованность. Северо-западная бортовая зона впадины, являющаяся фрагментом древней материковой окраины, принадлежащей Восточно-европейской литосферной плите, контроли-

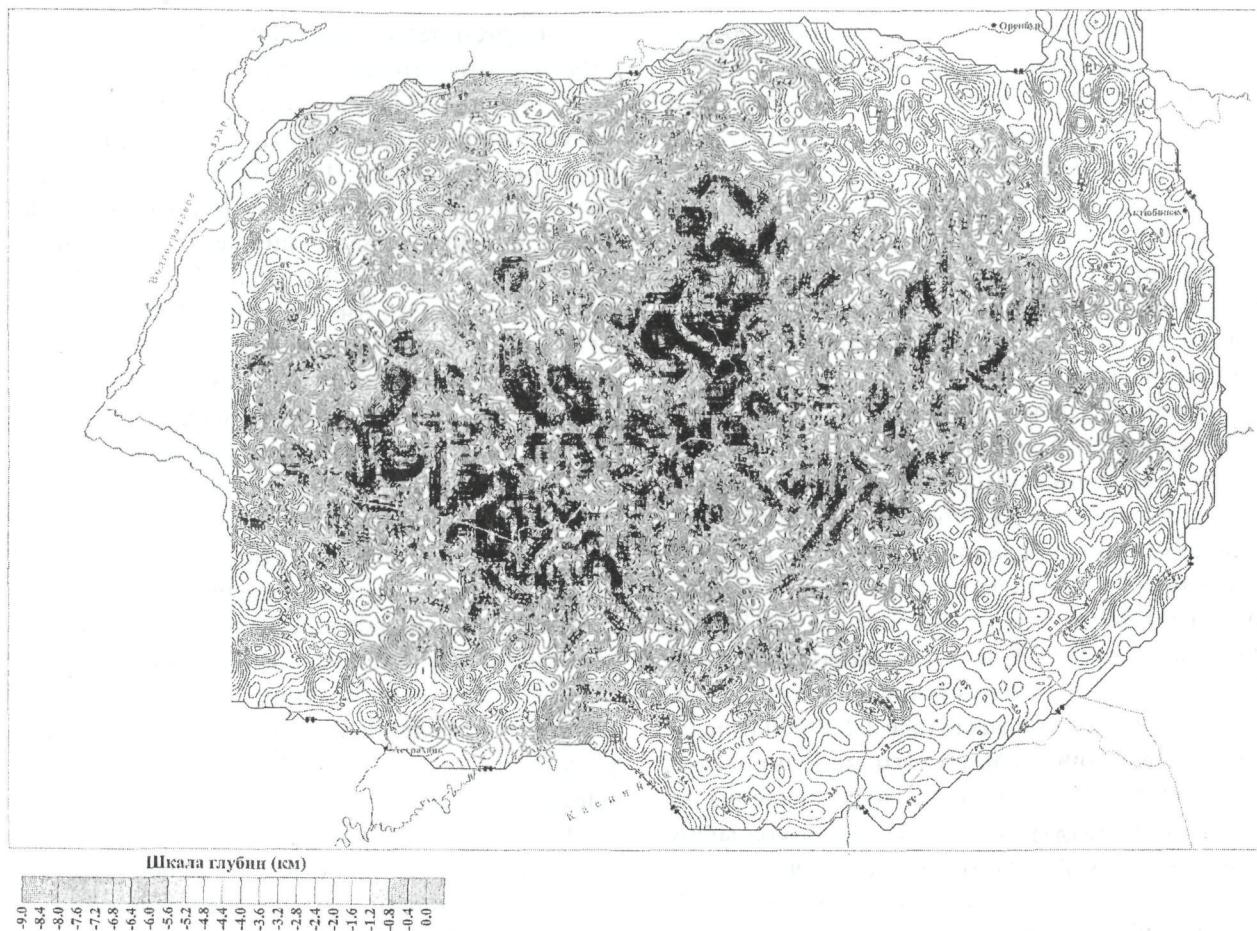


Рис. 2. Структурная карта кровли соли (генерализованная)

руется поднятием архейско-среднепротерозойского сейсмогеологического комплекса, которое отображается Волжско-Оренбурской зоной региональных максимумов. Урало-Мугоджарская зона гравитационных максимумов обусловлена герцинскими горными сооружениями Уральского складчатого пояса. Эта зона положительных аномалий отделена от Оренбургского максимума Актюбинским региональным минимумом меридионального простирания, который отображает здесь Новоалексеевский прогиб, связывающий Прикаспийскую впадину с Бельской ванной Предуральского краевого прогиба. Надвиговые структуры кряжа Карпинского и Южно-Эмбинское палеозойское поднятие, ограничивающие Прикаспийскую впадину с юга, в гравитационном поле отражены широтной Астраханско-Южно-Эмбинской зоной региональных максимумов. Что касается Хобдинского и Аралсорского гравитационных максимумов, то отметим, что их природу связывали с утонением гранитного слоя

и полной заменой его на аномальных участках базальтовым слоем. В связи с выделением на всей площади впадины геофизического слоя переходного состава (между гранитным и базальтовым) есть основание предполагать, что в пределах рассматриваемых региональных максимумов слой переходного состава полностью замещен базальтовым.

Важной особенностью геологического строения Прикаспийской впадины является накопившаяся здесь в пермское, в основном в кунгурское, время мощная толща соленосных отложений, что привело в последующие эпохи к интенсивному развитию соляной тектоники. Пониженная плотность соленосной толщи относительно вышележащих надсолевых отложений и огромные, измеряемые километрами перепады рельефа кровли соли создали благоприятные условия для использования гравиразведки при изучении строения Прикаспийской впадины. Соляные купола отображаются в гравитационном поле ин-

тенсивными отрицательными аномалиями силы тяжести. Природа этих аномалий и связь их с соляной тектоникой определяются однозначно. В связи с этим рассматриваемые локальные аномалии Прикаспийской впадины будем называть **аномалиями солянокупольного типа**. Мы уже отмечали, что особенностью Прикаспийской гравитационной структуры является мозаичное чередование локальных максимумов и минимумов. Эти аномалии являются аномалиями солянокупольного типа.

Соляные купола изучаются гравиразведкой в Прикаспийской впадине многие десятилетия, при этом методика интерпретации гравитационного поля постоянно усовершенствовалась. С использованием последних методических разработок была составлена региональная гравиметрическая модель соленосных отложений Прикаспийской впадины. Модель сформирована по сети 2 на 2 км, и на ее основе составлена структурная карта кровли соли в масштабе 1:500000 (рис. 2). Методика гравиметрического моделирования соленосных отложений с целью составления региональной структурной карты кровли соли нами подробно уже рассматривалась. Кровля соли является основной гравиактивной границей Прикаспийской впадины, но для более полного изучения гравитационного поля региона необходимо рассмотреть плотностной разрез региона в целом.

Наиболее сложной плотностной моделью характеризуется южная часть Прикаспийской впадины в зоне ее сочленения со Скифско-Туранской плитой, поэтому рассмотрим подробнее плотностной разрез этой части региона. При разработке плотностной модели были использованы обобщенные результаты изучения физических свойств керна глубоких скважин по казахстанской части Прикаспийской впадины и сопредельным районам: Северному Устюрту, Бузачинскому поднятию, Мугоджарам и Оренбургскому селу. Кроме фоновых материалов использованы литературные источники. Анализ этих материалов позволил выделить девять геолого-плотностных комплексов (рис. 3): 1) палеоген-неогеновый; 2) юрско-меловой; 3) пермо-триасовый; 4) пермский соленосный; 5) палеозойский; 6) гранитный слой (фундамент); 7) слой переходного – гранитно-базальтового состава; 8) базальтовый слой; 9) мантию.

Палеоген-неогеновый комплекс, подошве которого соответствует отражающий горизонт I, незначительно развит, существенную мощность эти отложения имеют на участках молодых компенсационных мульд. Плотность палеоген-неогеновых отложений у поверхности (по данным гравиметрических наблюдений на пересеченном рельфе) составляет 2,0 г/см³, а на глубине 2,0 км эти отложения уплотняются до 2,25 г/см³. В связи с локальным развитием этих отложений гравитационное влияние их, особенно при региональном моделировании, несущественно.

Юрско-меловой комплекс (подошва комплекса – отражающий горизонт V) повсеместно развит, включая районы, обрамляющие впадину. Исключение составляют небольшие участки на сводах некоторых куполов, где на предплиоценовый эрозионный срез в результате соляной тектоники выведены отложения триаса и породы пермской соленосной толщи. Плотность юрско-меловых отложений увеличивается от 2,2 г/см³ у дневной поверхности до 2,40 – 2,50 г/см³ на глубинах более 2,0 км.

Подошвой пермо-триасового комплекса в Прикаспийской впадине является кровля пермской соленосной толщи (преимущественно кунгурской соли). В южной части впадины, в зоне ее сочленения со Скифско-Туранской плитой эта граница совпадает с размытой поверхностью палеозоя (опорный отражающий горизонт б). Породы этого комплекса уплотняются от 2,35 г/см³ у поверхности до 2,6 – 2,7 г/см³ на глубинах более 5,0 км.

Юрско-меловой и пермотриасовый комплексы отложений в плотностном и структурно-тектоническом отношении нередко объединяются в надсолевую толщу, уплотняющуюся с глубиной по единому закону. Именно такая плотностная модель была использована при решении обратной задачи гравиразведки для составления региональной модели кровли соли Прикаспийской впадины (см. рис. 2).

Соль в плотностном отношении обычно рассматривается как однородная толща, ее плотность составляет 2,08 – 2,15 г/см³. С учетом небольших пропластков сульфатно-терригенного состава плотность соленосной толщи можно принять 2,15 г/см³. Такой вывод вполне обоснован для соленосной толщи кунгурского возраста. В настоящее время установлено, что в этой толще

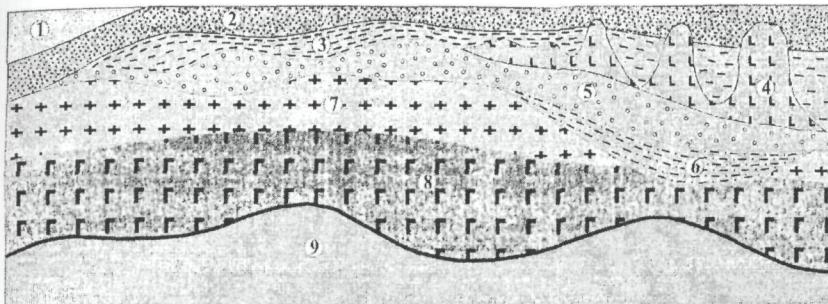
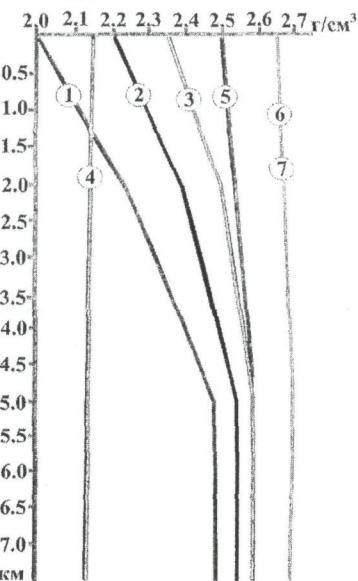


Рис. 3. Геолого-плотностной разрез Северо-Каспийского региона.

Геолого-плотностные комплексы: 1 – палеоген-неогеновый; 2 – юрско-меловой; 3 – пермо-триасовый; 4 – верхнепермско-соленоносный; 5 – верхнепалеозойский; 6,7 – фундамент-нижнепалеозойский; 8 – базальтовый слой; 9 – мантийный слой. Плотностные границы: 1,2 – подошва палеогена; 2,3 – подошва мела: отражающий горизонт V; 3,4 – подошва пермо-триаса: в Прикаспийской впадине – кровли соли (горизонт VI) или подсолевой горизонт III на участках отсутствия соли, на Скифско-Туранской плите – отражающий горизонт б; 4–6 – в Прикаспийской впадине – подсолевой горизонт П1, на Скифско-Туранской плите – б; 5–7 – в Прикаспийской впадине – подсолевой горизонт П3, на Скифско-Туранской плите – поверхность фундамента (гранитного слоя); 6–8 – поверхность Конрада, 8,9 – поверхность Мохоровичича

ГРАФИКИ ПЛОТНОСТЕЙ



нередко присутствует верхнепермская соль (обычно казанская), плотностные свойства которой заметно отличаются, что необходимо учитывать при моделировании солянокупольных структур.

Плотность подсолевых палеозойских пород более или менее полно изучалась в прибортowych частях впадины при относительно неглубоком их залегании. По этим данным плотность подсолевых отложений достаточно стабильна. Северо-западный борт характеризуется плотностью 2,63 г/см³ (612 образцов), на востоке 2,62 г/см³ (109), юго-восток 2,68 г/см³ (224), северо-восток 2,69 г/см³ (339). Сомнения в плотности подсолевого ложа возникли при исследовании керна, поднятого с больших глубин. Оказалось, что этот комплекс может обладать аномально пониженной плотностью. Так на площади Биикжал плотность подсолевых отложений оказалась 2,42 г/см³ (9 образцов). Исключая подобные аномалии, была предложена плотностная модель подсолевых отложений, в соответствии с которой они уплотняются с глубиной от 2,5 до 2,65 г/см³, выравниваясь на глубинах более 5 км с плотностью надсолевого комплекса.

В связи с высокой плотностью пород подсолевого комплекса возникает предположение об отсутствии существенного увеличения плотности на границе осадочного комплекса и консолидированного фундамента (гранитного слоя) При-

каспийской впадины, вряд ли скачок плотности здесь превышает 0,05 г/см³, так как плотность гранитного слоя не более 2,7 г/см³. Плотности базальтового слоя (2,9 г/см³) и мантийного вещества (3,25 г/см³) для плотностной модели Прикаспийской впадины взяты из литературных источников. В связи с выделением «надбазальтового» геофизического слоя ($V_g = 6,7 - 7,0 \text{ км/с}$) плотность его можно условно принять 2,8 г/см³.

Нами была сформирована региональная объемная многослойная числовая модель Прикаспийской впадины, включающая основные геолого-плотностные границы. Верхняя часть разреза до кровли соли рассматривалась как единая градиентная среда. Модель рельефа кровли соли была сформирована путем решения обратной задачи гравиразведки с учетом данных сейсмических исследований. Подсолевое ложе отождествлено с первым подсолевым отражающим горизонтом, который для решения региональных задач изучен сейсморазведкой достаточно полно. Поверхность фундамента изучалась сейсморазведкой КМПВ. Прослеживаемый сейсморазведкой ОГТ подсолевой горизонт П3 в прибортowych частях впадины залегает вблизи преломляющего горизонта Ф. Так как горизонт П3 изучен более детально, чем фундамент, то в бортовых частях впадины выполнен прогноз глубин Ф на основе рельефа П3. Объемная числовая модель осадочного чехла была сформирована по

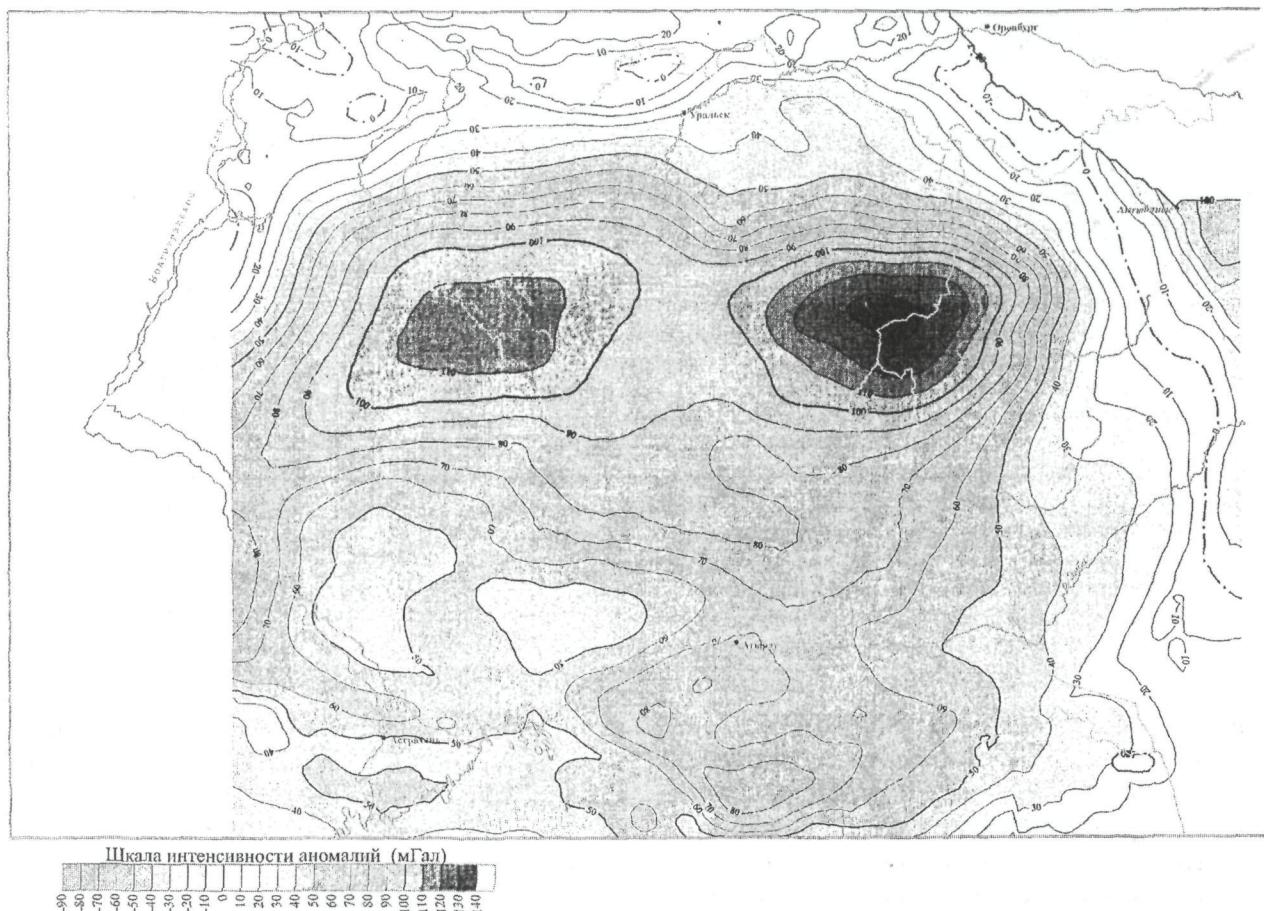


Рис. 4. Гравитационное поле Прикаспийской впадины, редуцированное за осадочный чехол

сети 5 на 5 км. Она включала кровлю соли, подсолевое ложе и поверхность фундамента. Плановый размер моделей примерно 1000 на 1000 км, она охватывает кроме Прикаспийской впадины зоны ее обрамления.

От плотностных границ П1 и Ф было рассчитано гравитационное поле, которое было исключено из аномалий Буге. Гравитационное поле от кровли соли вычислено при моделировании этого горизонта по более густой сети. Оно было разрежено до сети 5 на 5 км и также исключено из исходного поля.

Редуцированное таким образом гравитационное поле претерпевает инверсию – Прикаспийская гравитационная структура приобретает форму огромного регионального максимума, совпадающего в плане с границами впадины (рис. 4). На фоне Прикаспийского регионального максимума выделяются региональные аномалии второго порядка Аралсорский, Хобдинский и Северо-Каспийский максимумы.

Региональный максимум гравитационного поля, редуцированного за осадочный чехол, хорошо согласуется с замещением гранитного слоя Прикаспийской впадины плотным «надбазальтовым» слоем и в принципе подтверждает региональную геодинамическую модель этого региона. При этом Хобдинский и Аралсорский максимумы могут быть объяснены полной заменой гранитного слоя базальтовым. Таким образом, предложенное предыдущими исследователями истолкование природы этих гравитационных максимумов с небольшим уточнением нами подтверждается. Отметим, что региональный максимум над Прикаспийской впадиной достаточно четко проявляется при исключении из аномалий Буге только гравитационного влияния соленосной толщи, т. е. без учета границы Ф. Из этого следует, что наблюдаемое над впадиной отрицательное гравитационное поле обусловлено наличием в разрезе осадочного чехла соленосной толщи пониженной плотности.

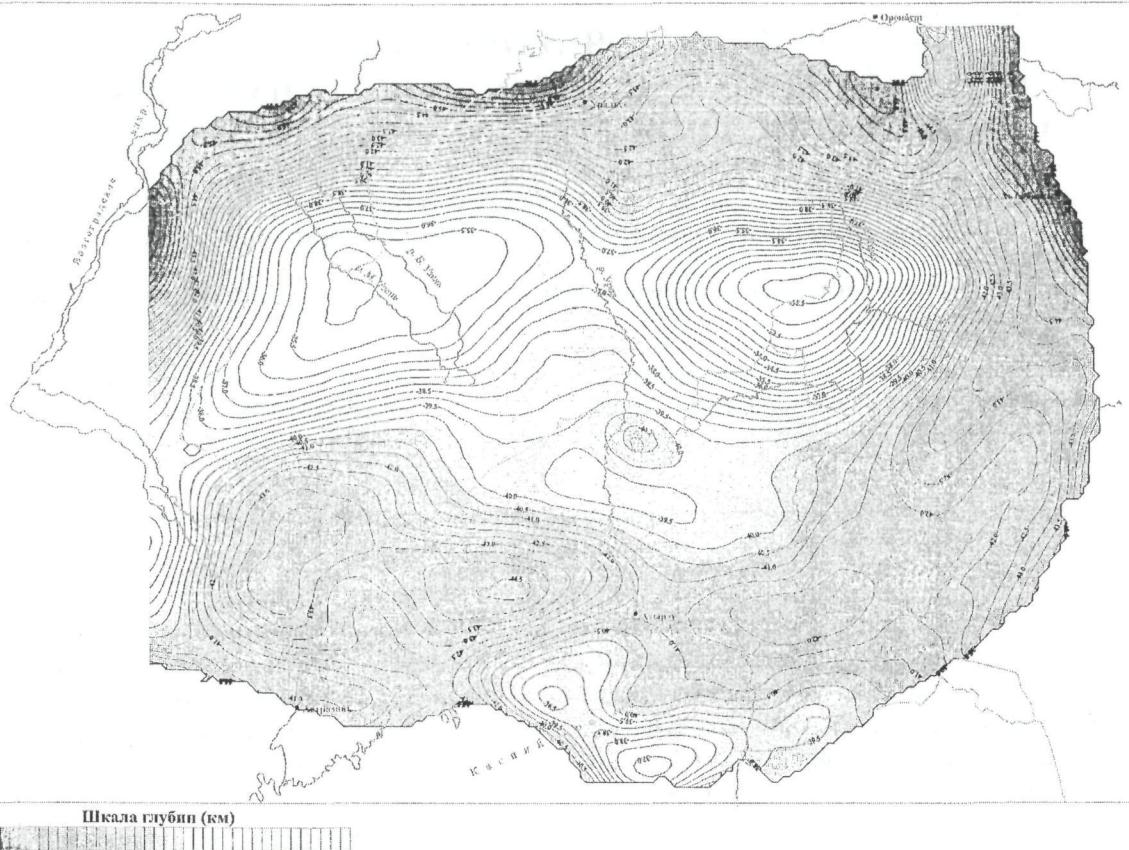


Рис. 5. Структурная карта поверхности Мохоровичича

Гравитационное поле с исключенным влиянием осадочного чехла определяется, в первую очередь мощностью земной коры, поэтому редуцированное таким образом поле правомерно использовать для прогноза глубин до поверхности Мохоровичича. Нами получена модель поверхности М путем решения обратной задачи гравиразведки для контактной поверхности (рис. 5), при этом средний уровень поверхности взят из монографии Л. З. Злавдинова (1974). В соответствии с полученной моделью поверхность М в

Прикаспийской впадине имеет весьма сложное строение, перепад глубин превышает 10 км. Минимальная глубина залегания (32 км) отмечается в своде относительно локального поднятия амплитудой до 5 км, приуроченного к Хобдинскому максимуму. Наиболее мощной земной корой (более 40 км) характеризуется южная часть междуречья Урал – Волга. Наибольшие градиенты погружения подошвы земной коры имеют северная и западная прибрежные части Прикаспийской впадины.