

М.В. Козленко, Ю.В. Козленко

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев

ГРАВИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Двумерное гравитационное моделирование вдоль разреза, объединяющего профили ГСЗ Белогорск-Джанкой и № 17, позволило уточнить границы континентального, субконтинентального и субокеанического блоков, а также установить плотностные характеристики в пределах каждого из них. Показано, что прогиб Сорокина может иметь рифтогенное происхождение. Вал Тетяева по своему строению скорее всего представляет собой форланд Крымской плиты, выдвинутый в южном направлении в результате расширения земной коры вследствие рифтогенеза в прогибе Сорокина.

Ключевые слова: гравитационное моделирование, Крымский ороген, прогиб Сорокина, вал Тетяева, Восточночерноморская плита.

Введение

Вопросу происхождения и эволюции Черного моря издавна уделялось большое внимание (см. достаточно большую сводку в [12]). Данную проблему невозможно решить без определения особенностей глубинного строения региона. Один из ключевых районов в Черном море — участок к югу от Крымского полуострова, поскольку здесь находится стык трех крупных структур — Крымского мегантиклинория, Восточно- и Западночерноморских плит. В этом районе в начале 60-х годов прошлого века было проведено глубинное сейсмическое зондирование по нескольким профилям, которое позволило наметить волновую структуру на глубинах до 30 км [18]. В 1980-х годах первичные данные были переинтерпретированы и получена скоростная характеристика разреза до 50 км [22]. После 2000-го года были проведены исследования, в которых волновая картина земной коры определялась с помощью томографических расчетов [8] и сейсмического моделирования [20]. Несмотря на то, что интерпретировали один и тот же материал, все указанные работы дают совершенно разную скоростную структуру региона.

© М.В. КОЗЛЕНКО, Ю.В. КОЗЛЕНКО, 2016

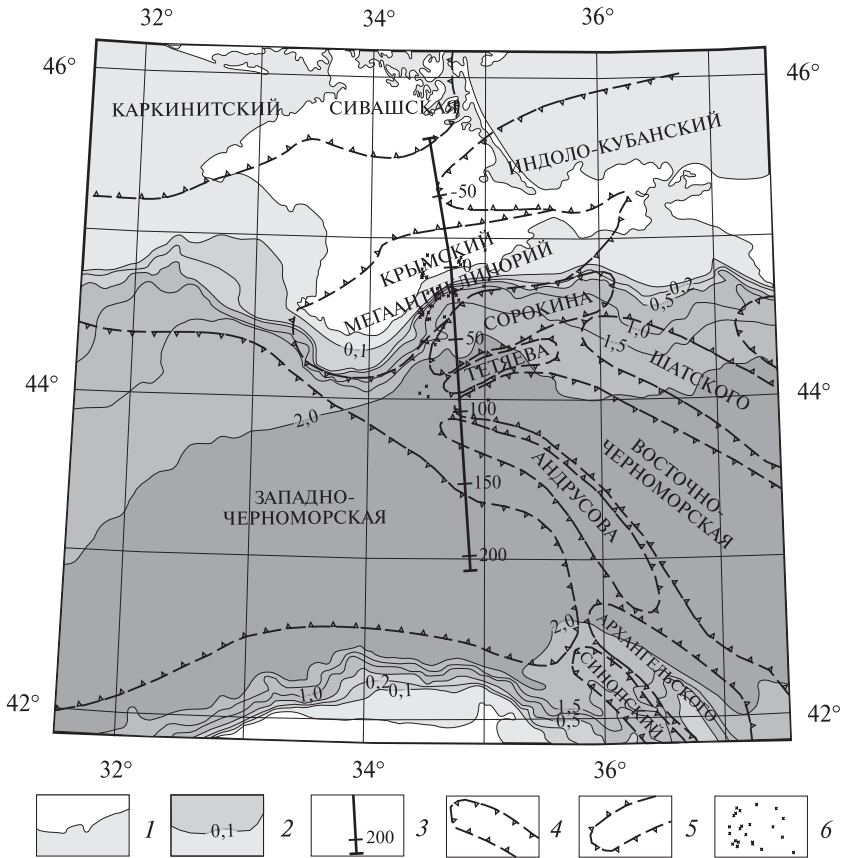


Рис. 1. Обзорная схема района исследований с положением модельного разреза: 1 — береговая линия; 2 — изобаты дна, км; 3 — положение разреза; 4 — отрицательные структуры; 5 — положительные структуры; 6 — эпицентры землетрясений по данным Incorporated Research Institutions for Seismology (<http://www.iris.edu>)

Исходя из неоднозначности сейсмической интерпретации и учитывая, что комплексирование геофизических методов повышает надежность построений [22], было решено провести гравитационное моделирование вдоль одного из профилей ГСЗ в центральной части Черного моря. Был выбран профиль № 17, поскольку на суше он с некоторым перерывом продолжается профилем Белогорск — Джанкой (рис. 1). Совместное моделирование морского и сухопутного профилей позволяет повысить точность подбора за счет включения в расчеты дальних зон, пренебрежение которыми может дать существенные погрешности.

Исходные данные

Континентальная часть модели задавалась в соответствии со скоростным разрезом из работы [22, рис. 17.2, г]. Согласно этим данным, Крымский мегаантиклинорий разделяется на приподнятый и опущенный блоки, по поверхности консолидированной коры в Степном Крыму выделяются Индо-Кубанский прогиб и Новоцарицынский выступ, кровля мантии залегает горизонтально на глубине 42 км.

В морской части разреза осадочный чехол возраста от палеогена до современного был откартирован исследованиями МОВ ОГТ по достаточно густой сети профилей [25]. В сечении модели мощность четвертичных и надмайкопских неогеновых отложений постепенно увеличивается от берега к Западночерноморской котловине. Подошвы этих осадочных комплексов образуют локальные (шириной порядка 10 км и высотой до 1 км) поднятия с центрами на ПК 65 и 60 соответственно. Отложения майкопа отсутствуют на гребнях валов Тетяева и Андрусова. Максимальная мощность этого горизонта отмечается в прогибе Сорокина, в центре которого она достигает почти 5 км. Нижележащие осадки палеоцен—эоценового возраста, начинаясь от центральной части прогиба Сорокина, покрывают все структуры. Их толщина на большей части профиля незначительная — меньше километра, в пределах Западночерноморской впадины постепенно увеличивается, достигая на южном конце разреза 5,5 км. В отличие от этого горизонта, максимальная мощность майкопских отложений в пределах котловины отмечается на 30 км севернее, что указывает на миграцию со временем центра прогибания земной коры в пределах данной структуры.

Согласно более новым данным сейсмопрофилирования, под кайнозойским чехлом находится карбонатная толща возраста от поздней юры [31] до конца раннего мела [26].

Поскольку сейсмические разрезы по профилю, полученные в результате переинтерпретаций [8, 20, 22], в деталях противоречат друг другу, при параметризации консолидированной коры были использованы результаты первичной обработки данных ГСЗ [18, рис. 15]. В этой работе намечена сейсмическая граница, которая воздымается в пределах валов Тетяева и Андрусова. Судя по значениям скорости, характерным для гранитоидов, этот раздел связан с кровлей кристаллического фундамента. Ниже находится граница, определяющая кровлю основных пород с прогибами под валами и субгоризонтальным залеганием в Западночерноморской впадине. Поверхность мантии установлена в одной точке (ПК 170) на глубине 24—27 км (в зависимости от заданной средней скорости слоя). Таким образом, гипсометрию подошвы коры в морской части модели пришлось подбирать не так, как для Крымского блока, где положение этой поверхности задавали по ранее полученным данным.

Плотностные характеристики слоев неконсолидированного осадочного чехла модели определяли согласно методике, изложенной в работе [14]. Плотность консолидированной коры определена путем пересчета средних значений скорости указанных сейсмических моделей с помощью функции приведения из [9].

Характеристика гравитационного поля

Для расчета модели на суше использовали гравитационные аномалии в редукции Буге, в море — в редукции Фая. Значения взяты из работ [4] и [22] соответственно.

Наблюденное поле силы тяжести (рис. 2) характеризуется положительной аномалией в сухопутной части профиля и отрицательной в морской, хотя переход через ноль привязан не к береговой линии и даже не к бровке шельфа, а находится вблизи континентального подножия. От начала профиля до гребня Крымских гор величина Δg возрастает от 15 до 98,5 мГал. В целом конфигурация

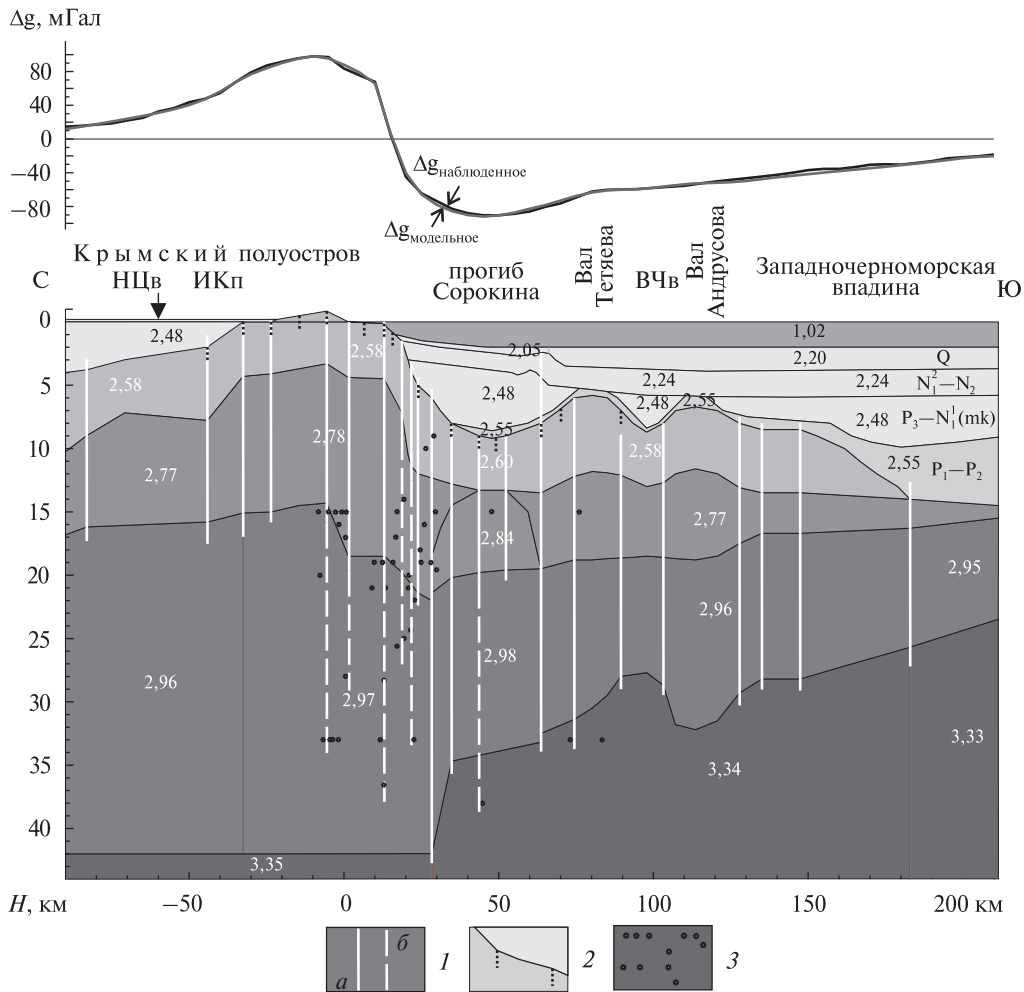


Рис. 2. Плотностная модель с гравитационным полем (значения ρ в г/см^3): 1 — выделенные нарушения: *a* — уверенные, *b* — предполагаемые; 2 — положение разломов по литературным данным [3, 5, 7, 10, 21]; 3 — гипоцентры землетрясений по данным Incorporated Research Institutions for Seismology (<http://www.iris.edu>). Стрелкой показано положение профиля DOBRE-5

аномальной кривой коррелирует с гипсометрией поверхности консолидированного основания, хотя Новоцарицынский выступ в гравитационном поле не отражается. Так, место наиболее резкой смены градиента аномалии (почти в два раза) отмечается в 4 км южнее самого выразительного перегиба консолидированной коры в осевой части Индоло-Кубанского прогиба. Северная граница Крымского орогена отражения в поле силы тяжести не имеет. В пределах южного крыла Крымского мегантиклинория самое крупное изменение градиента аномалии на 3 км севернее наиболее значительного перегиба кровли фундамента — бровки шельфа.

Минимальное значение Δg (-90 мГал) отмечено в осевой зоне прогиба Сорокина, в обе стороны от которой поле повышается примерно с одинаковым градиентом. В пределах этой структуры аномальная кривая достаточно гладкая,

антиклинали верхнеэоценовых и майкопских отложений (ПК 65 и 60 соответственно) в наблюдаемом поле не отражаются.

Южный край мульды прогиба Сорокина расположен на ПК 74, тогда как соответствующий ему перегиб аномалии находится на ПК 80, непосредственно над гребнем вала Тетяева. От этой точки гравитационное поле практически монотонно повышается до южного края профиля, достигая значения -18 мГал. Изменения глубины залегания подошвы осадочного чехла, по которым выделяются Восточночерноморская впадина, вал Андрусова и Западночерноморская котловина, отражения в наблюдаемом поле силы тяжести не имеют.

Таким образом, точки перегибов графика гравитационного поля и кровли фундамента вдоль профиля не совпадают, кроме вершины горы Хургуч.

Плотностная модель

Гравитационное поле рассчитывалось в 61 точке с шагом по профилю 5 км. Величина остаточной аномалии — разница между наблюдаемым и модельным полем силы тяжести — составила менее ± 5 мГал. Так как профиль проходит по краю некоторых структур, использование классического двумерного моделирования некорректно. Поэтому исследования проводили с помощью программы GEOIDMOD, в которой гравитирующие тела задаются не только по профилю, но и по обе стороны от него [15].

Поскольку чем выше по разрезу, тем более достоверна имеющаяся информация, при подборе модели глубины залегания и плотности осадочных слоев были закреплены. В складчато-метаморфическом этаже изменялась только гипсометрия подошвы. Для кристаллической коры и верхней мантии подбирали как конфигурацию границ, так и значения ρ .

В подобранной плотностной модели (рис. 2) четко выделяются три мегаблока — Крымский континентальный с горизонтальным положением подошвы коры на глубине 42 км, субконтинентальный северо-восточной части Черного моря с глубиной залегания поверхности мантии от 34,5 км до 26 км и субокеанический Западночерноморской котловины.

Континентальный блок по величине ρ фундамента разделяется на две зоны. Земная кора Равнинного Крыма состоит из четырех этажей. Мощность осадочного чехла уменьшается от 4 км на южном краю Сивашской впадины в сторону Крымского орогена, где этот слой выклинивается. Новоцарицынский выступ, расположенный между Сивашской впадиной и Индоло-Кубанским прогибом, слабо выражается по кровле складчато-метаморфического комплекса, но достаточно уверенно определяется по его подошве. Индоло-Кубанский прогиб, который профиль пересекает в области центриклинали, выделяется по подошве осадочного чехла в виде точки резкой смены градиента глубины залегания. В то же время по поверхности кристаллического фундамента он проявляется как асимметричная впадина с крутым южным и пологим северным бортами. Линия, разделяющая кислые и основные породы, очень полого поднимается с севера на юг между ПК 83 и 44, где отмечены точки перегибов всех границ слоев коры, обусловленные, на наш взгляд, разломной тектоникой.

Построенный разрез хорошо согласуется с данными сейсмического моделирования вдоль профиля DOBRE-5 [30] — расхождение по глубине залегания

основных границ в коре составляет от 0,1 до 0,7 км. Более серьезное различие — в положении кровли мантии — 42 км по гравитационным расчетам против 45 км по сейсмическим. Однако следует отметить, что в указанной работе гипсометрия этой поверхности в месте пересечения профилей дается под вопросом.

Крымский ороген в целом отличается от предыдущего блока заметным увеличением мощности «гранитного» слоя и повышенными значениями плотности кристаллического фундамента, в котором поверхности слоев залегают конформно кровле складчато-метаморфического комплекса. В его пределах выделяется несколько участков с характеристиками, отличными друг от друга.

Предгорный Крым ограничен с обеих сторон нарушениями (ПК 33 и 24), имеет маломощный осадочный чехол и субгоризонтальное залегание всех слоев земной коры.

Горный Крым характеризуется отсутствием сплошного осадочного чехла кайнозойского возраста и по своему глубинному строению разделяется на две части, граница между которыми приурочена к гребню горы Хургуч. Северный склон по параметрам сходен с предыдущим участком, отличаясь от него наклонным положением поверхностей структурных этажей, что при горизонтальной кровле мантии приводит к увеличению мощности «базальтового» слоя в осевой области горного массива. Южный склон характеризуется большими углами наклона слоев коры. Наиболее круто опускается раздел между кислыми и основными породами. В связи с этим резко возрастает толщина «гранитного» комплекса при соответствующем утонении «базальтов».

В пределах шельфа слои залегают субгоризонтально, как и в Предгорном Крыму. В этом блоке отмечается максимальная в сечении профиля мощность «гранитного» этажа — чуть более 14 км. Под континентальным склоном границы в коре вновь погружаются в южном направлении, но больший угол наклона приобретает подошва складчато-метаморфического комплекса, толщина которого постепенно увеличивается при уменьшении мощности слоев кристаллического фундамента.

К югу от ПК 22 кровля «гранитов» резко выполаживается. В этом месте отмечается максимальная в сечении профиля мощность верхнего комплекса консолидированной коры (более 7,5 км). С обеих сторон — в пределах шельфа и прогиба Сорокина — величина этого параметра почти вдвое меньше и примерно одинакова. Судя по изменению толщины указанного слоя, на доальпийском этапе развития региона в интервале профиля ПК 13–35 существовал прогиб, имевший асимметричное строение — крутой северный и более пологий южный борта. Такая конфигурация характерна для краевых прогибов. Можно предположить, что в мезозое данный прогиб представлял собой северную границу Восточночерноморской плиты. Впоследствии, в связи с изменением тектонической обстановки, он потерял структурообразующую функцию и, скорее всего, вошел в состав Крымского мегантиклинория, южный край которого, по данным разных исследователей, располагается в сечении профиля от ПК 28 [1] до 65 [6].

По мнению одних авторов, под сооружением Горного Крыма подошва коры погружается, образуя «корни» [6], другие [22] на основании сейсмических расчетов пришли к выводу об отсутствии таковых. По результатам проведенного плотностного моделирования, кровля мантии залегает горизонтально на глубине 42 км от северного края профиля до ПК 28, то есть до середины северного

борта прогиба Сорокина. Для удовлетворительного подбора модели в пределах Крымского орогена пришлось слегка уплотнить «гранитный» и «базальтовый» слои. В противном случае подошву коры пришлось бы поднять на несколько километров, и тогда под горами мощность коры оказалась бы меньше, чем под степным Крымом, что противоречит общепризнанным представлениям о горных системах. Поэтому можно утверждать, что, по крайней мере, в сечении профиля Крымские горы «корней» не имеют.

Континентальная структура, как правило, заканчивается в районе бровки шельфа, сменяясь в сторону моря переходной зоной, которая характеризуется синхронным погружением кровли и подъемом подошвы коры. В полученной модели горизонтальное залегание поверхности мантии протягивается на 15 км мористее. Такое нетипичное строение литосферы в пределах верхней части северного склона прогиба Сорокина может быть обусловлено поворотом в вертикальной плоскости консолидированного фундамента переходной зоны под действием опускания Восточночерноморской плиты. Этот процесс сопровождался активным разломообразованием на этом участке профиля.

В данном районе осадочные слои от майкопских до современных образуют с фундаментом прислоненное залегание. Это свидетельствует о скачкообразном характере трансгрессии моря, обусловленном тектоническими факторами погружения земной коры у южного берега Крыма. На то, что интенсивные нисходящие движения продолжаются и в настоящее время, указывает отсутствие четвертичных отложений на шельфе и континентальном склоне. Осадки данного возраста фиксируются, начиная с глубины 1 км ниже уровня моря [25].

В интервале профиля ПК 28—35 кровля мантии резко, под углом около 40°, поднимается до глубины 34,7 км, оформляя переход от континентального блока Крымского полуострова к субконтинентальному северо-восточной части Черного моря.

Консолидированная кора от ПК 35 до ПК 183 также, как и в континентальной части, состоит из трех этажей. Мощность складчато-метаморфического основания больше, чем в Крыму, тогда как кристаллические слои значительно тоньше, при этом гипсометрия их поверхностей дает возможность выделить на этом участке модели отдельные блоки.

Северный из них — прогиб Сорокина. В процессе моделирования, после снятия гравитационного эффекта толщи воды и кайнозойского осадочного чехла, была получена интенсивная отрицательная остаточная аномалия. Чтобы подобрать наблюдаемое поле силы тяжести, требовалось уплотнить низы разреза. Согласно расчетам [8], под прогибом Сорокина определяется достаточно интенсивная высокоскоростная аномалия. Причиной ее существования может служить только проникновение мантийного вещества в кору. Сочетание мощной осадочной призмы с расположенной под ней областью значительного редуцирования фундамента, как правило, характерно для рифтовых образований.

Мнение о том, что прогиб Сорокина может быть рифтогеном в последнее время приобретает все большее распространение. К такому выводу пришли авторы [31] на основании интерпретации сейсмических данных. В свою очередь, согласно [24], складчатость осадочного чехла данного района вызвана развитием надвигов северного падения. В работе [17] показано, что эти нарушения обусловлены воздействием листрических сбросов Южнобережной зоны Крыма.

Поскольку сбросы данного типа возникают в результате раздвижения литосферных блоков [16], указанная особенность строения осадочного покрова прогиба также указывает на его рифтовую природу. Кроме того, химический состав газов, выделяемых в пределах этой впадины, свидетельствует об их глубинном происхождении [23]. Значительный объем газовыделений указывает на высокую степень пористости пород, выполняющих данную структуру, что возможно только в условиях растяжения литосферы, присущего рифтогенам. Следует отметить, что даже авторы [8], постулируя обдукционный характер взаимодействия Крымской и Восточночерноморской плит, на рис. 2, а [8] стрелками обозначают движение блоков в обе стороны от центральной части прогиба, указывая тем самым на расширение земной коры в пределах данной структуры.

Следует отметить, что концепция рифтогенного происхождения прогиба Сорокина не общепринята. Поэтому расчеты данного блока произведены в режиме многовариантного анализа, суть которого состоит в проверке влияния изменений различных параметров модели на результат [13]. Наилучшим вариантом оказалось увеличение значений плотности до $2,60 \text{ г/см}^3$ в складчато-метаморфическом, $2,84 \text{ г/см}^3$ в «гранитном» и $2,98 \text{ г/см}^3$ в «базальтовом» слоях. Получившаяся область уплотнения в верхнем этаже консолидированной коры занимает только осевую зону прогиба, а в среднем имеет ярко выраженную куполообразную, практически симметричную, форму. Таким образом, эти два слоя редуцированы на всю мощность только под центральной областью прогиба Сорокина, в отличие от «базальтового», который подвергся преобразованию полностью в пределах данного блока.

Характер распределения полученных повышений плотности увязывается с томографическими расчетами из работы [8]. В соответствии с ними, в пределах прогиба Сорокина на глубине 15–20 км выделяется достаточно широкая линза повышенных скоростей. На плотностном разрезе наиболее интенсивное приращение величины ρ фиксируется в интервале 13,5–20 км. Между областью максимума V и подошвой осадочного чехла отмечается более узкая полоса увеличенных значений скорости [8], которой соответствует уплотненный участок складчато-метаморфического основания гравитационной модели шириной также 8 км. Поскольку центры плотностных аномалий структурно привязывались к осевой зоне прогиба, они оказались южнее скоростных на 9 и 7 км соответственно.

Кровля мантии под прогибом Сорокина, по данным проведенного моделирования, поднимается с севера на юг и в осевой части прогиба залегает на глубине 34 км, что достаточно хорошо коррелирует с сейсмическими построениями — 32 км в работе [20] и 38 в [22].

Полученные параметры разреза свидетельствуют о том, что прогиб действительно мог образоваться в результате рифтогенеза.

Южнее прогиба Сорокина вплоть до Западночерноморской впадины плотность консолидированного основания аналогична таковой в степном Крыму. Мощность слоев разная в пределах различных блоков.

Складчато-метаморфическое основание вала Тетяева характеризуется куполовидным залеганием обеих поверхностей. Кровля «базальтового» слоя поднимается с севера на юг меньше, чем на один километр, тогда как его подошва имеет более значительный угол наклона, градиент которого последовательно возрастает по воздыманию этой границы. Особенность вала — отсутствие четко выра-

женных «корней», что не характерно для положительных геоструктурных форм. Из этого можно сделать вывод, что вал Тетяева — изначально южный форланд Крымской плиты — вероятно, был отделен от материнского блока с возникновением рифта в прогибе Сорокина. На рис. 1 видно, что если «схлопнуть» прогиб, то вал фактически ляжет в выемку современной бровки шельфа между Форосским выступом и мысом Меганом. Согласно палеотектонической реконструкции [28], еще в среднем эоцене северо-восточная часть поднятия Шатского, соответствующая валу Тетяева, прилежала к Крыму.

Следующий блок в сечении профиля — центриклиналь Восточночерноморской впадины. В ее пределах отмечается уменьшение мощности всех этажей консолидированного фундамента, причем две верхние границы прогнуты в центре вниз, а две нижние — выгнуты вверх. Такое строение характерно для отрицательных геоструктур. Конфигурация границ Восточночерноморской котловины, а именно загиб к западу ее северной оконечности (рис. 1), позволяет предположить, что впадина состоит из двух прогибов. Ось основного, оформившегося как рифтовый трог в сеномане [2], имеет диагональную ЮВ—СЗ ориентацию. Второй, кайнозойский молассовый бассейн [19], протягивается в восток-северо-восточном направлении вдоль южного борта вала Тетяева. История этой структуры прослеживается с мезозоя; согласно палеогеографическим построениям*, этот участок акватории в альбе представлял собой ареал развития вулканизма, протягивающийся вдоль всего современного южного берега Крыма до Туапсинской впадины. На основании анализа имеющейся информации можно сделать вывод о том, что в мелу южнее вала Тетяева возник субмеридиональный рифтоген, разделивший Крымскую и Восточночерноморскую плиты после их позднеабатской [11] коллизии.

Вал Андрусова представляет собой достаточно узкую протяженную возвышенность, разделяющую Восточно- и Западночерноморскую впадины. В сечении профиля он проявляется куполообразными поднятиями обеих поверхностей складчато-метаморфического основания, так же, как и вал Тетяева, но, в отличие от последнего, имеет четко выраженные «корни». Общая мощность консолидированной коры в осевой части вала Андрусова превышает таковую под поднятием Тетяева на 800 м.

В работе [18] земная кора от ПК 133, согласно интерпретации данных ГСЗ, состоит из двух этажей — складчато-метаморфический комплекс залегает непосредственно на «базальтах» на глубине порядка 16 км. Подбор такой модели показал, что в этом случае мощности обеих этажей фундамента оказываются сопоставимыми. С геологической точки зрения трудно представить процесс, который мог бы привести к такому строению консолидированного основания. Согласно [27], южный фланг вала Андрусова представляет собой отделенный разломами блок континентальной коры с горизонтальным залеганием подошвы осадочного чехла. В сечении профиля этому блоку соответствует участок на ПК 135—148. Поэтому в модель южнее ПК 133 был добавлен «гранитный» слой, хоть и незначительной мощности.

* Обґрунтування перспектив нафтогазоносності осадового чохла шельфу та глибоководної частини Українського сектора Чорного моря. Звіт про науково-дослідну роботу ДП «Наука-нафтогаз». — Київ, 2005.

Литосфера этого участка профиля в окончательной модели выглядит так: все слои консолидированной коры постепенно утоняются к югу, вплоть до выклинивания верхнего этажа у края Западночерноморской котловины, в пределах ступени, образованной подошвой осадков, все границы в фундаменте залегают горизонтально. Сглаженность подошвы майкопских отложений и колебание мощности палеоцен-эоценового слоя в интервале профиля ПК 131—157 позволяют предположить, что ступень — самостоятельная, достаточно автономная тектоническая структура, которая в конце эоцена, вероятно, была выведена выше уровня моря, в результате чего подверглась денудации. Кровля мантии поднимается в южном направлении, достигая глубины около 26 км. На ПК 170 значение этого параметра составляет 26,6 км, что укладывается в рамки (24—27 км), установленные интерпретацией данных ГСЗ в работе [18, рис. 15].

Граница между субконтинентальным и субокеаническим блоками определяется резким перегибом поверхности докайнозойского фундамента, на который с севера выклинивается складчато-метаморфический комплекс, а также уменьшением плотностей в нижней коре и верхней мантии. К этому месту тяготеет локальный максимум мощности майкопских отложений.

Кора Западночерноморской впадины относится к субокеаническому типу. Ее мощность уменьшается по направлению к центру котловины с 12 до 8 км на краю профиля. По данным моделирования, фундамент состоит из двух слоев с плотностью 2,77 и 2,95 г/см³. Судя по значениям ρ , верхний этаж может представлять собой как остатки небазифицированных «гранитов», так и трещиноватые разности «базальтов». Глубина залегания подошвы коры в этом блоке повышается в южном направлении до 23,5 км в конце модели, что полностью соответствует значению, полученному в работе [29].

В подобранной плотностной модели по точкам резкой смены градиентов залегания границ слоев был выделен ряд нарушений, показанных на рис. 2 белыми линиями. Наиболее густая сеть разломов отмечается в верхней части северного склона прогиба Сорокина. Из дислокаций, определенных в результате ранее проведенных исследований [3, 5, 7, 10, 21], в сечении профиля большинство были подтверждены результатами моделирования.

Положение выделенных разломов хорошо совпало с проекцией на профиль близлежащих гипоцентров крупных землетрясений (по данным Incorporated Research Institutions for Seismology). На разрезе можно выделить четыре участка сейсмичности. Первый из них приурочен к южному склону Крымских гор. В этом районе основная группа землетрясений фиксируется на границе «гранитного» и «базальтового» слоев, но вместе с тем тектонические события присутствуют и в нижнем этаже кристаллической коры. Вторая область формирует Южнобережную сейсмогенную зону. Здесь землетрясения достаточно равномерно распределены в большем диапазоне глубин, чем на первом участке — события отмечаются во всех трех слоях консолидированного фундамента. Следует отметить, что единственные в районе профиля проявления сейсмической активности в складчато-метаморфическом основании привязаны к северной границе предполагаемого рифтоида под прогибом Сорокина.

На двух других участках — осевой зоне прогиба и в пределах вала Тетяева — тектонические подвижки происходят гораздо реже. По одному событию зарегистрировано в каждой из структур внутри «гранитного» слоя. В отличие от первых

участков, в последних три гипоцентра оказываются ниже подошвы коры, что может указывать на процессы, происходящие в верхней мантии на южной, частично переработанной и погруженной, оконечности Крымской плиты.

Выводы

Проведенное двумерное гравитационное моделирование вдоль профилей ГСЗ Белогорск—Джанкой и № 17 позволило установить плотностные характеристики каждого из блоков.

Горный Крым отличается от Степного повышенными значениями плотности кристаллической коры и мощности «гранитного» слоя. Южное крыло Крымского мегаантиклинория характеризуется латеральной изменчивостью строения фундамента, осложненного многочисленными разломами. Максимальная толщина «базальтового» слоя зафиксирована под гребнем гор, «гранитного» — в пределах шельфа, складчато-метаморфического — в средней части северного борта прогиба Сорокина.

Прогиб Сорокина вполне может иметь рифтогенное происхождение. Консолидированное основание в его осевой части уплотнено на всю глубину. Наибольшую степень базификации претерпел «гранитный» слой. Вал Тетяева по своему строению представляет собой форланд Крымской плиты, выдвинутый в южном направлении в результате расширения земной коры вследствие рифтогенеза в прогибе Сорокина. Центриклиналь Восточночерноморской впадины, по-видимому, служит западной оконечностью субмеридионального кайнозойского молассового прогиба, вытянутого вдоль вала Тетяева. Земная кора вала Андрусова относится к субконтинентальному типу. Строение его фундамента характерно для положительных геоструктур — с приподнятой в осевой части кровлей и прогнутой подошвой. В переходной зоне от вала к Западночерноморской котловине намечается небольшая структура, поверхность которой была денудирована в конце эоцена. Западночерноморская впадина имеет субокеаническую кору.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас родовищ нефти і газу України. Т. VI. Південний нафтогазоносний регіон. Львів: Центр Європи, 1998. 234 с.
2. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н. Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона. М.: Научный мир, 2007. 172 с.
3. Борисенко Л.С., Тихоненков Э.П., Новик Н.Н., Чебаненко И.И. О структурной приуроченности эпицентров основных групп Крымских землетрясений. Геол. журн. — 1983. **43**, № 6. С. 64—69.
4. Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Кулик С.Н., Логвинов И.М. Геофизическая модель тектоносферы Украины. К.: Наук. думка, 1985. 212 с.
5. Бызова С.Л. Некоторые вопросы тектоники Горного Крыма. *Вест. Моск. унив.* Сер. 4. Геология. 1980. № 6. С. 15—25.
6. Геофизические параметры литосферы южного сектора альпийского орогена / Ред. Б.С. Вольвовский, В.И. Старостенко. К.: Наук. думка, 1996. 216 с.
7. Герасимов М.Е., Кармазин П.С., Кривченков Б.С., Самсонов А.И. Геологическое строение Крымской сейсмогенной зоны. *Сейсмотектоника южных районов СССР*. М.: Наука, 1978. С. 27—35.
8. Гончар В.В., Трегубенко В.И., Токовенко В.С. Режимы деформирования и взаимодействия плит черноморско-крымской области конвергенции. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2007. № 2. С. 5—18.

9. Гордиенко В.В. Плотностные модели тектоносферы территории Украины. К.: Интеллект, 1999. 100 с.
10. Занкевич Б.А., Трохименко Г.Л. О геодинамике прогиба Сорокина — шовной зоны на стыке Восточночерноморской и Скифской плит. *Геолог. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2007. № 1. С. 25—31.
11. Казьмин В.Г., Тихонова Н.Ф. Раннемезозойские окраинные моря в Черноморско-Кавказском регионе: палеотектонические реконструкции. *Геотектоника*. 2005. № 5. С. 20—35.
12. Коболев В.П. Геодинамическая модель Черноморской мегавпадины. *Геофиз. журн.* 2003. 25, № 2. С. 15—35.
13. Козленко В.Г., Козленко М.В. Строение земной коры переходной зоны Днепровско-Донецкого авлакогена по данным сейсмогравитационного моделирования. *Геофиз. журн.* 2007. 29, № 5. С. 162—178.
14. Козленко М.В., Козленко Ю.В., Лысынчук Д.В. Глубинное строение земной коры западной части Черного моря по результатам комплексной переинтерпретации геофизических данных по профилю ГСЗ № 25. *Геофиз. журн.* 2009. 31, № 6. С. 77—91.
15. Козленко Ю.В., Корчагин І.М., Михайлюк С.Ф. Програмний комплекс обробки та інтерпретації гравіметричних і магнітометричних даних і аномалій геоїду. *Бюлетень УАЦ*. 1997. Вип. 1. С. 245—250.
16. Милановский Е.Е. Рифтогенез и его роль в тектоническом строении Земли и ее мезокайнозойской геодинамике. *Геотектоника*. 1991. № 1. С. 3—20.
17. Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А. Киммерийская и альпийская тектоника Горного Крыма. *Бюлл. МОИП. Отд. геологии*. 2006. 81, вып. 3. С. 22—33.
18. Непрочнов Ю.П., Непрочнова А.Ф., Зверев С.М., Миронова В.И. Глубинное сейсмическое зондирование земной коры в центральной части Черноморской впадины. *Вопросы методики глубинного сейсмического зондирования*. М.: Наука, 1965. С. 51—83.
19. Никишин А.М., Коротаев М.В., Болотов С.Н., Ершов А.В. Тектоническая история Черноморского бассейна. *Бюлетень МОИП. Отд. геологии*. 2001. 76, вып. 3. С. 3—18.
20. Пийп В.Б., Ермаков А.П. Океаническая кора Черноморской впадины по сейсмическим данным. *Вестник Моск. ун-та. Серия 4. Геология*. 2011. № 5. С. 61—68.
21. Пустовитенко Б.Г., Тростников В.Н. К вопросу о связи сейсмических процессов в Крыму с тектоникой. *Геофизический сборник*. 1977. Вып. 77. С. 13—23.
22. Сейсмогравитационное моделирование при изучении литосферы. К.: Наук. думка, 1994. 292 с.
23. Стадницкая А.Н., Беленькая И.Ю. Состав и происхождение углеводородных газов и их влияние на диагенетические карбонатообразования (прогиб Сорокина, СВ часть Черного моря). *Геология Черного и Азовского морей*. К.: Гносис, 2000. С. 155—163.
24. Терехов А.А., Шимкус К.М. Молодые осадки и надвиговые структуры в Прикрымской и Прикавказской зонах. *Геотектоника*. 1989. № 1. С. 72—79.
25. Туголесов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б., Соловьев В.В., Хахалев Е.М. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины. М.: Недра, 1985. 215 с.
26. Nikishin A.M., Okay A., Tüysüz O., Demirel A., Wannier M., Amelin N., Petrov Eu. The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Part 1: Basins structure and fill. *Marine and Petroleum Geology*, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.08.017>.
27. Nikishin A.M., Okay A., Tüysüz O., Demirel A., Wannier M., Amelin N., Petrov Eu. The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Part 2: Tectonic history and paleogeography. *Marine and Petroleum Geology*. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.08.018>.
28. Nikishin A.M., Ziegler P.A., Bolotov S.N., Fokin P.A. Late Palaeozoic to Cenozoic Evolution of the Black Sea — Southern Eastern Europe Region: A View from the Russian Platform. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 2011. (20). P. 571—634.
29. Starostenko V., Buryanov V., Makarenko I., Rusakov O., Stephenson R., Nikishin A., Georgiev G., Gerasimov M., Dimitriu R., Legostaeva O., Pchelarov V., Sava C. Topography of the crust-mantle boundary beneath the Black Sea Basin. *Tectonophysics*. 2004. (381). P. 211—233.
30. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Farfuliak L., Czuba W., Sroda P., Thybo H., Artemieva I., Sosson M., Wolfman Y., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Omelchenko V., Gryn D., Guterch A.,

- Komminaho K., Legostaeva O., Tiira T., Tolkunov A. Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the north western Black Sea and the Crimean Peninsula. *Geophys. J. Int.* 2015. (201), P. 406–428.
31. Stovba S.M., Khriachtchevskaia O.I., Popadyuk I.V. Crimea and Ukrainian eastern Black Sea basin as an inverted early Cretaceous rift system. Darius Programme, Eastern Black Sea — Caucasus Workshop, 24–25 June 2013, Tbilisi, Georgia. Tbilisi: TSU Press, P. 65–67.

Статья поступила 06.07.2016

М.В. Козленко, Ю.В. Козленко

ГРАВИТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛІТОСФЕРИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ КРИМСЬКО-ЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ

Двовимірне гравітаційне моделювання уздовж розрізу, що об'єднує профілі ГСЗ Білогорськ-Джанкой та № 17, дозволило уточнити межі континентального, субконтинентального і субокеанічного блоків, а також встановити густинні характеристики в межах кожного з них. Показано, що прогин Сорокіна може бути рифтогенного походження. Вал Тетяєва за своєю будовою скоріш за все є форландом Кримської плити, висунутим у південному напрямку в результаті розширення земної кори внаслідок рифтогенезу в прогині Сорокіна.

Ключові слова: гравітаційне моделювання, Кримський ороген, прогин Сорокіна, вал Тетяєва, Східночорноморська плита.

М. Kozlenko, Yu. Kozlenko

GRAVITY MODELLING THE LITHOSPHERE OF CENTRAL CRIMEAN-BLACK SEA REGION

A two-dimensional gravity modeling along profiles DSS Belogorsk-Dzhankoy and № 17 effort to make more precise the boundaries of continental, subcontinental and suboceanic blocks and to establish density characteristics for each of them. It is shown that the Sorokin trough could supposedly have rifting origin. Tetyaev swell likely represents Forland of Crimean plate, extended towards the south as a result of expansion of the crust due to the Sorokin trough rifting.

Key words: gravity modeling, Crimean orogen, Sorokin trough, Tetyaev swell, Eastern Black Sea plate.