

Глубинное строение Оболонской астроблемы по результатам пространственного интегрального сейсмогравитационного моделирования

© Т.А. Федченко¹, Ю.В. Анищенко², Н.С. Ганженко²,
А.П. Петровский², 2015

¹Институт геотехнологий "ИНГЕОТЕХ ЛТД", Ивано-Франковск, Украина

²Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, Украина

Поступила 13 мая 2013 г.

Представлено членом редколлегии Т.П. Егоровой

Виконано просторове сейсмогравітаційне моделювання глибинної будови Оболонської западини. Отримані результати підтвердили існуюче припущення про формування западини, як імпактної структури. Особливості поведінки густинних властивостей порід фундаменту дали змогу уточнити його тектонічну будову і речовинний склад, а також встановити місця ймовірного падіння двох частин метеоритного тіла.

Ключові слова : астроблема, нафтогазоносність, нетрадиційні резервуари, інверсія геофізичних даних, 3D інтегральна геолого-геофізична модель.

Введение. Учитывая острую потребность Украины в обеспечении собственными углеводородными ресурсами и то, что в пределах одного из наиболее перспективных ее нефтегазоносных регионов — Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) — возможности прироста запасов углеводородов (УВ) за счет открытия новых месторождений традиционного типа ограничены, актуальность вопроса изучения объектов нетрадиционного типа не вызывает сомнения. К нетрадиционному типу геологических объектов, в частности, относятся астроблемы — структуры, образовавшиеся в результате падения метеорита. Структуры ударно-метеоритного происхождения известны во многих регионах мира и к значительной части из них приурочены месторождения различных полезных ископаемых, в том числе и УВ [Grieve, 1987].

В пределах Украины на сегодняшний день известно семь структур, для которых доказана их импактная природа образования (рис. 1). Наибольший интерес исследователей на протяжении многих лет вызывает Оболонская астроблема, расположенная на территории южного

борта ДДВ. Причина такого интереса состоит в уникальности как структур такого типа в принципе, так и расположения Оболонской астроблемы в пределах территории, граничащей с основным нефтегазоносным бассейном Украины ДДВ. По данным [Dopofrio, 1981], 50 % импактных структур, расположенных в пределах нефтегазоносных бассейнов Северной Америки, являются нефтегазоносными. Таким образом, значительное число специалистов нефтегазовой геологии Украины рассматривают Оболонскую астроблему как высокоперспективную в нефтегазоносном отношении [Краюшкин, 1987; Гуров, 1989].

После открытия Оболонской впадины в результате проведения региональных электроразведочных работ (1952) на ее территории выполнен значительный объем геолого-геофизических исследований. В частности, наличие кольцевой структуры в 1951 г. подтверждено гравитационными данными. Позже, в 1965—1966 гг., были проведены региональные сейсмические исследования, подтвердившие наличие депрессии по поверхности фундамента. Пробуренные впоследствии две скважины с целью поисков

горючих сланцев (залежи которых известны в пределах другой — Болтышской — астроблемы), не вскрыв в разрезе сланцев, подтвердили импактную природу структуры. Об ударно-метеоритном происхождении структуры свидетельствуют признаки ударного метаморфизма в керне: брекчирование, следы переплавки, наличие диаплектовых минералов и диаплектового стекла и т. п. В частности, в составе зювитовой брекчии обнаружены импактное стекло и минеральные зерна с признаками ударного метаморфизма (развитие планарных элементов в кварце и биотите [Лазаренко, 1984], диаплектовых стекол полевых шпатов и тонкой фрагментации граната, обусловленных действием давлений 20—40 МПа), импактные алмазы, конусы разрушения в породах кристаллического фундамента размером 4—5 см (последние обусловлены действием ударной волны 2—10 ГПа). Также необходимо отметить, что ряд авторов ставит под сомнение надежность подобных признаков, которые, по мнению многочисленных зарубежных и отечественных исследователей, являются индикаторами ударно-метаморфических явлений в породе. Так, [Федоришин та ін., 2013] полагают, что такие отличия в породах могут иметь место при криптовулканических процессах, подчеркивая, что: "... присутствие диаплектового стекла воспринимается как неоспоримый факт, который связан исключительно с астроблемами. В то же время его можно рассматривать как продукт эксплозивного плутонизма [Маракушев, 1988]". Эти авторы считают, что существует только один неоспоримый аргумент космического происхождения структуры — находки осколков метеоритов.

По данным проведенных исследований, на основании общепринятых критериев, Оболонская структура была включена в международный перечень доказанных импактных структур — Earth Impact Database.

В 2010—2011 гг. был проведен расширенный комплекс геофизических исследований, который включал: сейсморазведку 3D, площадную высокоточную грави- и магниторазведку масштаба 1 : 10 000, а также региональные площадные геохимические работы. Необходимо отметить, что это, вероятно, первый случай, когда нефтегазопроисследовательские работы были поставлены целенаправленно на опосредованное обнаружение астроблемы (в то время как для большинства опосредованных нефтегазоносных астроблем характерно установление импактной природы после открытия месторождения), в связи с чем был применен максимально широкий комплекс работ. Ре-

зультатом выполненных комплексных исследований стала 3D интегральная геолого-геофизическая модель Оболонской астроблемы, максимально согласованная со всем комплексом имеющихся геолого-геофизических данных.

Метод исследований. Учитывая, что в пределах астроблемы следует ожидать развитие, в первую очередь, неструктурных ловушек УВ, для их прогнозирования необходимо применение новых методик изучения глубинного строения. Одной из таких методик, получившей широкое использование при поисках и разведке как традиционных, так и нетрадиционных нефтегазоперспективных объектов в Украине и России, является "Технология интегральной интерпретации комплекса геолого-геофизических данных при поисках и разведке нефтяных и газовых месторождений" [Петровский, 2004], базирующаяся на построении пространственной интегральной физико-геологической модели объектов, согласованной со всем имеющимся комплексом геолого-геофизических данных. Эта технология была использована и при изучении глубинного строения Оболонской астроблемы.

Технология создания пространственных интегральных моделей геологической среды предусматривает несколько основных этапов (рис. 2):

- интеграцию всего имеющегося комплекса геолого-геофизических данных в рамках априорной 3D модели среды, включающей в себя структурную модель и модель распределения физических свойств;
- уточнение параметров начальной модели путем решения соответствующей обратной задачи интегральной интерпретации сейсмогравиметрических данных в критериальной постановке;
- анализ полученной интегральной 3D геоплотностной модели среды с точки зрения удовлетворения всем исходным данным, геологическая интерпретация.

Структурно-тектоническое строение Оболонской астроблемы изучено в результате 3D сейсморазведочных работ. В результате указанных работ были построены структурные карты по основным отражающим горизонтам. Выполненная комплексная интерпретация скважинных и сейсмических данных позволила увязать выделенные отражающие горизонты со структурными особенностями принципиальной геологической модели астроблемы (рис. 3): отражающий горизонт VII (PR) в верхней части кристаллического фундамента с кровлей пород мишени; отражающий горизонт Vb₂ (C₂b) с кровлей отложений башкирского яруса среднего кар-

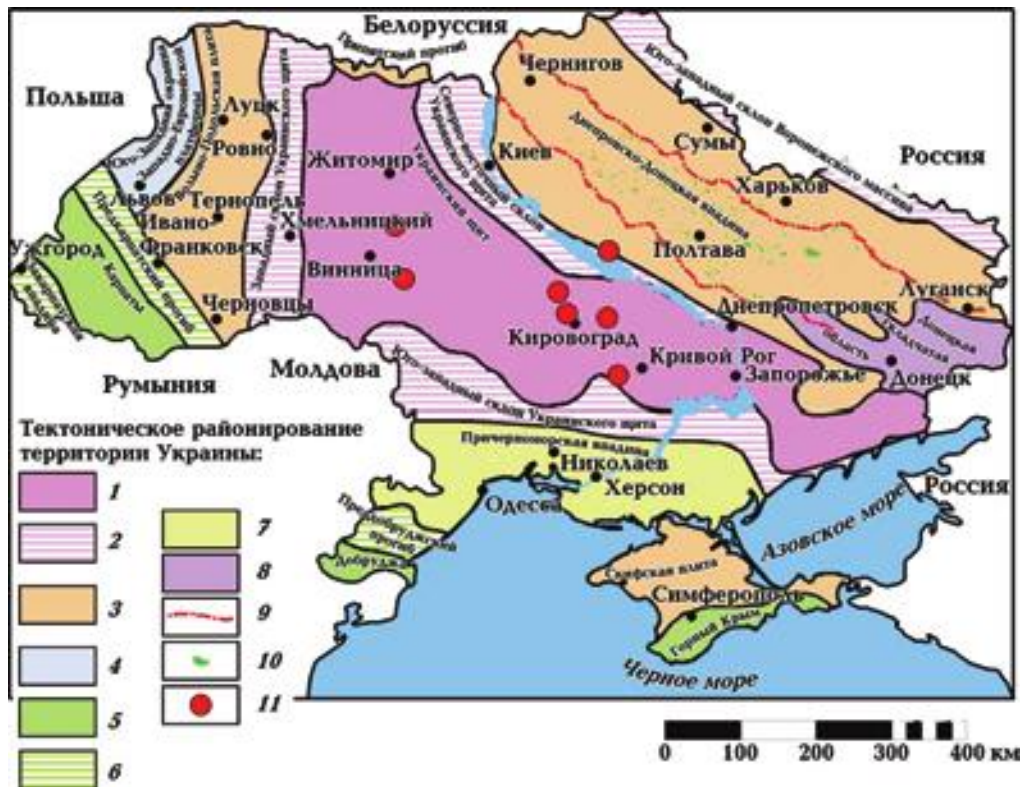


Рис. 1. Расположение Оболонской импактной структуры на тектонической карте Украины. Тектоническое районирование территории Украины: 1 — Украинский щит; 2 — склоны Украинского щита и Воронежского массива; 3 — обрамление щита: Вольно-Подольская и Скифская плиты, Днепровско-Донецкая впадина и Припятский прогиб; 4 — юго-восточная окраина Западно-Европейской платформы; 5 — складчатые системы Карпат, Добруджи и Крыма; 6 — Прикарпатский и Преддобруджинский прогибы; 7 — Причерноморская впадина; 8 — Донецкая складчатая область; 9 — краевые нарушения; 10 — месторождения; 11 — астроблемы.

бона (сохранившихся в первичном залегании за пределами кратера); отражающий горизонт $\Pi_{в-п}$ (J_2bs) в нижней части отложений байосского яруса средней юры с кровлей отложений коптогенного комплекса (отложения такого комплекса образовались в результате ударного метаморфизма); а отражающим горизонтам $\Pi_{в1}$ (J_2bt) и $\Pi_{б}$ (J_3oxf) в нижней части батского яруса средней юры и нижней части оксфордского яруса верхней юры поставить в соответствие породы заполняющего комплекса. Указанные структурные построения явились основой для создания 3D структурной модели территории.

По результатам полученных построений форма астроблемы близка к изометрической, размеры составляют $18,5 \times 17$ км (рис. 4, б). Максимальная глубина кратера по кровле фундамента составляет 1054 м, а по кровле коптогенного комплекса — 835 м. Глубина котловины, образованной ударом метеорита (перепад между

максимально углубленной частью и кольцевым валом по породам фундамента), составляет 600—300 м. В центре кратера картируется малоамплитудное (не более 30 м) центральное поднятие, что позволяет отнести астроблему к типу сложных импактных структур. Мощность брекчиеватого комплекса достигает 190 м в центральной части кратера. Время образования структуры досреднеюрское.

С целью построения начальной 3D модели распределения плотностных свойств был выполнен пересчет куба пористости, полученного по результатам сейсмической инверсии, в куб плотности, последующая его калибровка по данным петрофизических исследований близлежащих скважин, а также увязка со скоростными характеристиками разреза на основе 1D сейсмического моделирования волнового поля по скважинам Оболонской площади [Анищенко та ін., 2012]. При построении модели исполь-

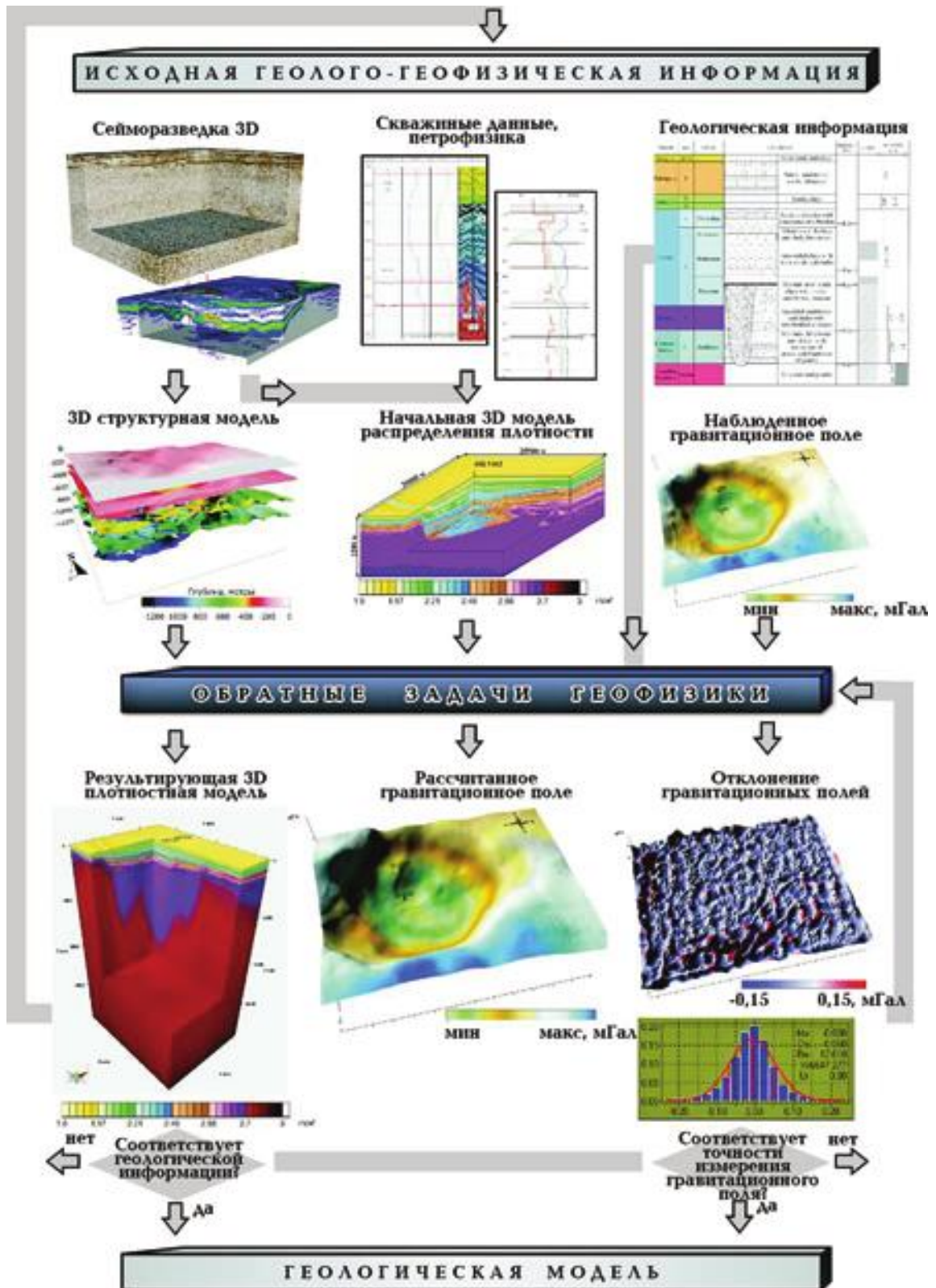


Рис. 2. Схема создания интегральной геолого-геофизической модели глубинного строения Оболонской астроблемы.

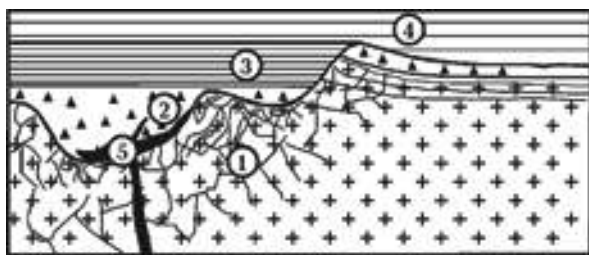


Рис. 3. Принципиальная схема строения астроблемы: 1 — цокольный комплекс (породы мишени); 2 — коптогенный комплекс, объединяющий аллогенную брекчию и импактиты, заполняющие после взрыва впадину кратера, образующие вал и покровы выбросов; 3—5 — заполняющий, перекрывающий и инъекционный комплексы соответственно.

зована регулярная прямоугольная декартова аппроксимация. Размеры единичной ячейки составили $100 \times 100 \times 5$ м, размеры 3D модели — $25,5 \times 20$ км в плане и 8 км по глубине (см. рис. 4). Общее количество ячеек модели составило 6 878 480.

Проведенные расчеты прямой задачи гравиразведки для созданной 3D геоплотностной модели и сопоставление рассчитанного и наблюдаемого полей показали принципиальное соответствие модели гравитационному полю. При этом среднеквадратическое отклонение между измеренным и рассчитанным гравитационными полями составило 1,41 мГал. Дальнейшее уточнение параметров 3D геоплотностной модели было выполнено на основе решения пространственной линейной обратной задачи интегральной интерпретации комплекса гравиметрических и сейсмических данных в пассивной постановке [Петровский, 2003]. Для результирующей модели среднеквадратическое отклонение между измеренным и рассчитанным гравитационными полями составило 0,066 мГал, что ниже точности использованных высокоточных гравиметрических исследований масштаба 1 : 10 000, для которых погрешность определения аномалии Буге с учетом полной погрешности интерполяции, согласно "Инструкции по гравиразведке", не должна превышать 0,076 мГал.

Проведенный анализ особенностей поведения геоплотностных свойств в пределах созданной пространственной сейсмоплотностной модели позволил конкретизировать существовавшие представления о глубинном строении Оболонской астроблемы.

Анализ результатов. Характеристика вещественного состава фундамента. Согласно тектоническому районированию докембрийских

образований территории Украинского щита (УЩ) Оболонская астроблема расположена в восточной краевой части Ингульского мегаблока. Супракрустальные образования тут представлены ингуло-ингулецкой серией палеопротерозоя, в разрезах которой широко распространены различного состава гнейсы (доминируют биотитовые и гранат-биотитовые разновидности) и кристаллосланцы с прослоями амфиболитов. Ультраметаморфические образования распространены тут наиболее широко и представлены гранитоидами кировоградского комплекса (порфирированные и аплитопегматоидные граниты, двополевошпатовые мигматиты).

Анализ характера изменения плотности пород в полученной геоплотностной модели позволил установить, что кратерная зона четко выделяется в изменении плотностных свойств пород фундамента (см. рис. 4, в). Подкратерная зона характеризуется относительным понижением плотности пород фундамента. При этом выделяются два локальных максимально разуплотненных блока. Один из указанных блоков расположен в центральной части кратера, а другой — в его юго-западной краевой части. Разуплотнение пород в пределах центральной части подкратерной зоны уверенно прослеживается в образованиях фундамента до глубины 5000 м (см. рис. 4, в). В юго-западной части кратера разуплотненная зона в образованиях фундамента прослеживается до глубины 3000 м и характеризуется меньшими размерами в плане.

Наличие двух локальных разуплотненных участков в фундаменте Оболонской астроблемы может свидетельствовать о том, что в момент падения или удара космическое тело распалось на две неравные части, которые, соответственно, столкнулись с поверхностью Земли в центрах выделенных разуплотненных участков кратера.

По данным сейсмоплотностного моделирования в образованиях кристаллического фундамента присутствуют локальные уплотненные тела, которые по результатам проведенных магнитометрических исследований характеризуются повышенной намагниченностью. По аналогии со смежными участками Ингульского мегаблока, подобные образования можно связывать с небольшими базит-ультрабазитовыми интрузиями предположительно райпальского комплекса, которые прорывают породы ингуло-ингулецкой серии. Более крупные интрузивные тела наиболее уверенно картируются в южной и северной краевых частях Оболонского кратера, мелкие развиты в центральной, северо-западной и северо-восточной его частях.

Однако можно предположить, что уплотненные блоки связаны с развитием инъекционно-го комплекса [Масайтис и др., 1980], представленного локальными магматическими телами, внедрившимися в породы цокольного или коптогенного комплексов, и/или наложенными на породы этих комплексов гидротермально-метасоматическими образованиями. Относительно метасоматических процессов, активизирующихся в результате импактного удара, то, согласно [Kirsinae, Osinsky, 2013], в астроблемах малого и среднего диаметров очагами гидротермальной активности являются центральное поднятие и листрические разломы кольцевого поднятия. Учитывая, что гидротермальные процессы, по имеющимся данным, негативно влияют на коллекторско-фильтрационные свойства пород [Donofrio, 1981], приводя к закупорке порового пространства вследствие отложения минералов, следует ожидать повышение плотностных характеристик и намагниченности пород указанных блоков. Улучшение фильтрационно-емкостных характеристик кристаллических пород центрального поднятия фиксируется только в случае эрозии последнего, что не характерно для Оболонского кратера. Таким образом, полученная магнитно-плотностная модель образований фундамента хорошо согласуется с известными представлениями о гидротермальных процессах по данным изучения других астроблем.

Сравнение плотностных характеристик по срезу результирующей модели на уровне 100 м ниже кровли фундамента с вещественным составом пород фундамента, вынесенного на схему геологического строения докембрийских образований фундамента (по [Колосовська, 1997] с дополнениями) (см. рис. 4, б), указывает на высокую согласованность плотностных и петрографических характеристик. Так, области локализации аномалий повышенной плотности (более 2700 кг/м^3) соответствуют выходам интрузивных тел типа габбро, габбро-диоритов и норитов. Двуполевошпатовые биотитовые и амфибол-биотитовые мигматиты с переходами к гранитам характеризуются небольшим распространением, им соответствуют аномалии пониженной плотности (менее 2650 кг/м^3). Аномалиям плотности в промежуточном диапазоне (от 2650 до 2700 кг/м^3) соответствуют значительные участки развития гнейсов различного типа (биотитовых, гранат-биотитовых с пропластками гранат-пироксен-биотитовых). Следует отметить, что полученные в результате сейсмогравитационного моделирования средние значения плот-

ности указанных типов пород в среднем на 3–5 % ниже величин, характерных для подобных образований в их ненарушенном состоянии [Пигулевский и др., 1999], что также свидетельствует в пользу влияния на них ударного метаморфизма.

Следующим важным этапом в изучении структуры фундамента было уточнение тектонической схемы его глубинного строения.

Уточнение разрывной тектоники докембрийских образований фундамента. При изучении разрывной тектоники фундамента были использованы данные сейсморазведки и возможности картирования линий тектонических нарушений на основе линеamentного анализа остаточной, нескомпенсированной компоненты гравитационного поля, рассчитанного для полученной окончательной сейсмоплотностной модели (рис. 5). Это позволило по результатам выполненных исследований в районе Оболонской астроблемы в докембрийском комплексе пород выделить три основные системы разрывных нарушений (см. рис. 5). Первая, наиболее древняя, была заложена и развивалась в архейское и палеопротерозойское время. Вторая система образовалась при заложении Днепровского грабена в теле Восточно-Европейской платформы и развивалась на последующих этапах его тектонической активизации. Третья, самая молодая, система (локальная) образовалась при падении космического тела в среднеюрское время. При этом в районе падения Оболонского метеорита также были активизированы и разломы более ранних по возрасту систем.

В докембрийской системе разломов преимущественно развиты разрывы субмеридиональной, северо-восточной и субширотной ориентаций. Наиболее крупными и определяющими среди них являются субмеридиональные разломы, которые образовались в палеопротерозойское время. Они разграничивают наиболее крупные тектонические элементы этой части УЩ, в частности контролируют расположенную в непосредственной близости от Оболонской астроблемы Ингулецко-Криворожскую шовную зону. К ним в пределах последней относятся Западно-Ингулецкий и Знаменско-Пирятинский разломы. Разломы указанного направления в этой части Ингульского мегаблока также контролируют вытянутые грабен-синклиновые палеопротерозойские структуры, сложенные ингуло-ингулецкой серией. Субширотные разломы, очевидно, более молодые, они смещают разрывы всех других систем. Северо-восточные разломы наиболее древние (архейские) и развиты фрагментарно.

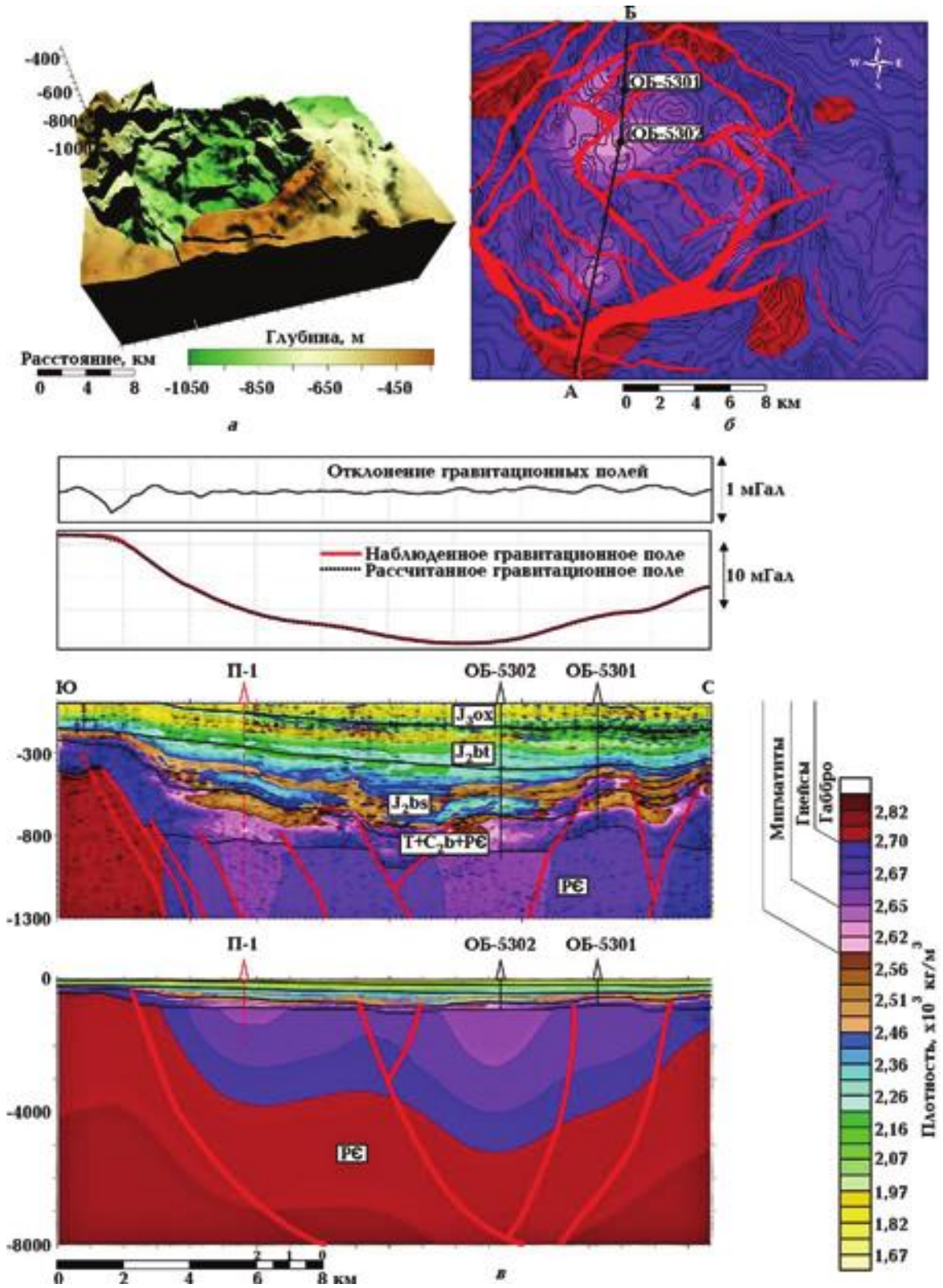


Рис. 4. Аксонометрическое изображение Оболонской импактной структуры по поверхности фундамента (а). Петрографическая классификация пород фундамента на основе дифференциации геоплотностных свойств (б). Геоплотностной разрез по линии А—Б до глубин 1400 и 8000 м (в).

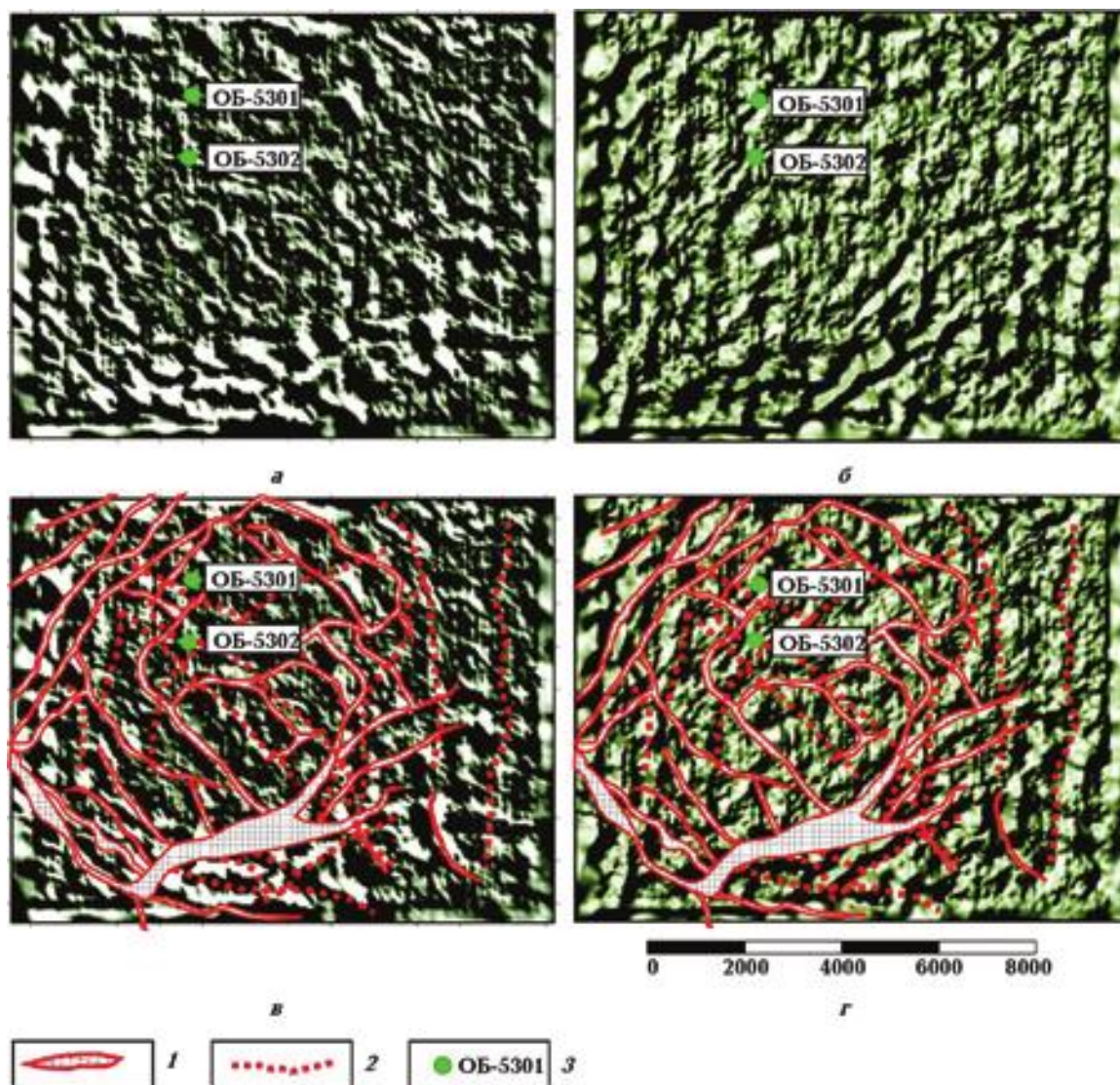


Рис. 5. Теневое изображение нескомпенсированной компоненты гравитационного поля под разными углами освещения (*а, б*) и закартированные по данным 3D сейсморазведки тектонические нарушения с уточненными и новыми направлениями их распространения по данным линейного анализа (*в, г*): 1 — тектонические нарушения по данным сейсморазведки 3D; 2 — тектонические нарушения, выделенные в результате сейсмогравитационного моделирования; 3 — поисково-картировочные скважины, пробуренные в пределах Оболонской площади.

Система разломов в верхней части фундамента Оболонской астроблемы, которая образовалась при падении метеорита, детально изучена сейсморазведкой МСГТ (3D). Эти разломы характеризуются преимущественно северо-западной и северо-восточной ориентациями, образуя элементы кольцевидной и дугообразной формы. Наиболее высокоамплитудное нарушение выделяется в южной части Оболонской структуры и имеет северо-восточное, близкое к субширотному, простирание. В остаточной компоненте гравитационного поля как раз южная часть

астроблемы отмечается зоной максимальных градиентов (см. рис. 5, *а, б*). Эта зона картируется несколько южнее охарактеризованного амплитудного разлома и трассируется как в западном, так и в восточном направлениях (см. рис. 5, *в, г*). В пределах этой разломной зоны проходили наиболее интенсивные тектонические деформации.

Охарактеризованная разломная зона может быть отнесена к Золотоношскому региональному разлому субширотного простирания, который выделялся здесь по данным предыдущих

исследований [Колосовська, 1997]. Он, вероятно, был активизирован при падении метеорита, что подтверждается как значительной амплитудой нарушения, так и повышенной тектонической раздробленностью этой части Оболонской структуры.

Дополнительно следует отметить, что падение метеорита в районе Оболонской структуры спровоцировало активизацию архейских (северо-восточные направления) и девонских (северо-западные направления) разломов, закартированных по данным 3D сейсморазведки. На построенных картах теневых невязок (см. рис. 5, в, г) прослеживаются гравитационные линейменты, пространственное положение и форма которых, с одной стороны, хорошо согласуются с линиями разломов, выделенных по сейсмическим данным, а с другой — дополняют их и показывают новые направления.

Список литературы

Анищенко Ю. В., Ганженко Н. С., Федченко Т. А., Кропивницький Я. М. Формування апріорної просторової моделі Оболонської площі на основі сейсмогравітаційного моделювання. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 2012. № 4 (45). С. 45—53.

Колосовська В. А. Розробка геолого-геофізичних критеріїв визначення перспективних у нафтогазоносному відношенні структур кристалічного фундаменту Північного та Південного бортів ДДЗ. Звіт по темі за 1993—1997 рр. Київ, 1997.

Краюшкин В. А., Гуров Е. П. К перспективе поиска нефти и газа в астроблемах Украины. *Геол. журн.* 1989. № 1. С. 17—27.

Лазаренко Е. И. Ударно-метаморфизированный кварц горных пород астроблем Украинского щита: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Киев, 1984. 334 с.

Маракушев А. А. Петрогенезис. Москва: Недра, 1988. 293 с.

Масайтис В. Л., Данилин А. Н., Мащак М. С., Райхлин А. И., Селивановская Т. В., Шагенков Е. М. Геология астроблем. Ленинград: Недра, 1980. 230 с.

Петровский А. П. Математические модели и информационные технологии интегральной интерпретации комплекса геолого-геофизических

Выводы. Анализ глубинного строения Оболонской астроблемы, выполненный в результате пространственного сейсмогравитационного моделирования, позволил оценить вещественный состав докембрийских образований фундамента, уточнить его разрывную тектонику и выделить два разуплотненных локальных участка, с плановым положением которых связывается местоположение центров падения двух осколков метеорита. Полученные данные подтверждают существующие представления о глубинном строении Оболонской впадины и ее формировании как импактной структуры.

Авторы выражают глубокую признательность академику В. И. Старостенко за постоянное внимание и поддержку проводимых исследований по интегральному геолого-геофизическому моделированию объектов нефтегазоперспективных территорий.

данных (на примере нефтегазоперспективных участков): Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Ивано-Франковск, 2004. 367 с.

Петровський О. П., Кобрунов О. І., Ганженко Н. С., Суятінов В. М. Автоматизована система кількісної комплексної інтерпретації геофізичних даних GCIS як основа технології інтегральної інтерпретації комплексу геолого-геофізичної інформації для пошуків нафти і газу. *Геоінформатика*. 2003. № 2. С. 25—34.

Пигулевский П. И., Березин Б. З., Кичурчак В. М. Результаты составления геолого-структурной карты докембрийских образований юго-восточной части Украинского щита. Киев: Геоінформ, 1999. 198 с.

Федоришин Ю. І., Яковенко М. Б., Тріска Н. Т. Погляд на походження Бовтиської структури за результатами геофізичних та морфотектонічних досліджень. *Геодинаміка*. 2013. № 2 (11). С. 304—307.

Donofrio R. R., 1981. Impact craters: implications for basement hydrocarbon production. *J. Petroleum Geology* 3, 279—302.

Grieve R. A. F., 1987. Terrestrial impact structures. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 15, 245—270.

Kirsinae K., Osinski G. R., 2013. Impact-induced hydrothermal activity. In: *Impact Cratering: Processes and Products*. Wiley-Blackwell, 76—89.

Deep structure of the Obolon astrobleme according to the results of spatial integral seismic-gravity modeling

© Т. А. Fedchenko, Yu. V. Anishchenko, N. S. Ganzhenko,
A. P. Petrovskiy, 2015

Spatial seismic-gravity modeling of the deep geological structure within the Obolon depression has been done. Modeling results confirm the validity of assumption that depression has been formed as an impact structure. Features of the rock density distribution within the crystalline basement allowed to specify its tectonic structure and mineral composition and also to determine a probable location of the two parts of meteoritic object.

Key words: astrobleme, oil and gas, unconventional reservoirs, the inversion of geophysical data, 3D integrated geological-geophysical model.

References

- Anishchenko Yu. V., Ganzhenko N. S., Fedchenko T. A., Kropyvnytskyi Ya. M., 2012. Formation apryory spatial models Obolonskoy Square seism gravity based modeling. *Rozvidka ta rozrobka naftovih i gazovih rodovishch* (4), 45—53 (in Ukrainian).
- Kolosovska V. A., 1997. Geological and geophysical development criterion definitions in respect of oil and gas prospective structures crystalline basement of the North and Southern board DDD. A report on the subject for the 1993—1997 year. Kyiv (in Ukrainian).
- Krayushkin V. A., Gurov E. P., 1989. To the prospect of oil and gas exploration in Ukraine astrobleme. *Geologicheskyy zhurnal* (1), 17—27 (in Russian).
- Lazarenko E. I., 1984. Shock-metamorphosed quartz rocks astroblems Ukrainian shield: Phd geol. and min. sci. Kiev, 334 p. (in Russian).
- Marakushev A. A., 1988. Petrogenesis. Moscow: Nedra, 293 p. (in Russian).
- Masaytis V. L., Danilin A. N., Mashchak M. S., Reykhlin A. I., Selivanovskaya T. V., Shadenkov E. M., 1980. Geology astroblems. Leningrad: Nedra, 230 p. (in Russian).
- Petrovskiy A. P., 2004. Mathematical models and information technology integrated interpretation of geological and geophysical data (for example, oil and gas problems): Phd phys. and math. sci. Ivano-Frankovsk, 367 p. (in Russian).
- Petrovskiy O. P., Kobrunov O. I., Ganzhenko N. S., Suyatinov V. M., 2003. Automation system of quantitative complex interpretation of geophysical data GCIS technology as the basis of integral interpretation of geological and geophysical data for the oil and gas exploration. *Geoinformatyka* (2), 25—34 (in Ukrainian).
- Pigulevskiy P. I., Berezin B. Z., Kichurchak V. M., 1999. Results compilation of geological and structural map of the Precambrian formations of the southeastern part of the Ukrainian shield. Kiev: Geoinform, 198 p. (in Russian).
- Fedorishin Yu. I., Yakovenko M. B., Triska N. T., 2013. View of the origin Boltyshe structure based on the results of geophysical and morfotectonical research. *Geodynamika* (2), 304—307 (in Ukrainian).
- Donofrio R. R., 1981. Impact craters: implications for basement hydrocarbon production. *J. Petroleum Geology* 3, 279—302.
- Grieve R. A. F., 1987. Terrestrial impact structures. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 15, 245—270.
- Kirsinae K., Osinski G. R., 2013. Impact-induced hydrothermal activity. In: *Impact Cratering: Processes and Products*. Wiley-Blackwell, 76—89.