УДК 551.24.03.

[https://doi.org/10.31474/2073-9575-2019-1\(21\)-2\(22\)-39-50](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2019-1(21)-2(22)-39-50)А. Муровская
Е. Поляченко
В. Шпыра
С. Тихливец**ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ И ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПРУТСКОГО
ВЫСТУПА СЕВЕРНОЙ ДОБРУДЖИ В КОНТЕКСТЕ ГЕОДИНАМИКИ
ДОБРУДЖИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ)**

Цель. Полевое изучение деформационных структур (складок и разрывов) в девонских отложениях Прутского выступа Северной Добруджи и определение соответствующих полей напряжений, а также их сопоставление с региональными разломными нарушениями.

Методика. Измерялись линейные и плоскостные элементы геологической структуры, выполнялся их статистический анализ с использованием программ Stereonet и Stereo32. Для реконструкции полей напряжений применялся метод структурных парагенезисов, учитывающий взаимную ориентировку разрывов. Для реконструкции полей палеонапряжений по набору тектонических зеркал скольжения и борозд на их плоскостях использовался кинематический метод и программа Win-Tensor.

Результаты. В природных обнажениях Прутского выступа Северной Добруджи изучены складчатые и разрывные деформации в кварц-серицитовых сланцах среднего-верхнего девона, а также реконструированы соответствующие им поля напряжений. Установлено, что ориентировка слоистости в целом совпадает с плоскостью нависа северо-западного простиранья по азимуту 300°, к которому приурочены изученные обнажения. Такое соответствие позволяет связать складчатые деформации, приведшие к крутому падению пластов с перемещением по надвигу в поле северо-восточного сжатия, которое происходило после отложения пород триаса, очевидно в киммерийский этап тектогенеза.

Тремя методами реконструировано поле субмеридионального (север-северо-восточного) сжатия, которое отражает правосдвиговое перемещение по разлому северо-западного простиранья. Показано, что микроскладчатость, которая является характерной особенностью девонских сланцев, ориентирована закономерно и связана со сдвиговыми перемещениями в направлении субперпендикулярном простиранью разлома. Это отражает наличие сдвиговых перемещений как в зоне самого разлома, так и в сопряженном направлении. Поле юго-восточного сжатия, восстановленное по структурным парагенезисам разрывов, возможно, связано с давлением юго-восточной дуги Карпатского надвигового фронта. В результате такого сжатия по разломам северо-западного простиранья происходят левосдвиговые перемещения по типу трансформных.

Научная новизна. Впервые детально изучены разрывные и складчатые деформации девонских сланцев Орловской серии в пределах Прутского выступа Северной Добруджи, реконструированы соответствующие палеонапряжения и предложена их геодинамическая интерпретация.

Практическое значение. Реконструированные поля напряжений могут быть использованы для уточнения кинематического типа и этапов активизации разрывных нарушений системы Сфанту-Георгиевского разлома, ограничивающего ороген Северной Добруджи, а также при геодинамических реконструкциях южного сегмента Транс-Европейской шовной зоны.

Ключевые слова: Прутский выступ, Северная Добруджа, складчатые деформации, зеркала скольжения, поля палеонапряжений.

Введение.

Географическая провинция Добруджа располагается между Дунаем и Черным морем и представляет собой невысокую (до 500 м) возвышенность. В тектоническом отношении она делится разломами северо-западного простиранья на Южную (ЮД), Центральную (ЦД) и Северную (СД) части. Добруджа является ключевым узлом для понимания геодинамики Центральной Европы, поскольку она расположена в предгорье юго-восточных Карпат, на северо-западной окраине Черного моря и на юго-восточной оконечности Транс-Европейской шовной зоны (ТЕШЗ), которая

простирается от Балтийского до Черного моря [1,11]. Большая часть Северной Добруджи расположена в Румынии, а в пределы Украины находится Прутский выступ СД и Преддобруджинский прогиб [4]. Прутский выступ СД расположен на территории Украины и ограничен с обеих сторон двумя ветвями Сфанту-Георгиевского разлома.

Анализ последних исследований и публикаций.

Изучение Прутского выступа Северной Добруджи тесно связано с вопросами о положении и строении южного

ограничения Восточно-Европейского кратона (ВЕК), ТЕШЗ и их эволюции [1, 6, 12]. В работе [5] показано положение внешнего края Восточно-Европейской платформы в районе междуречья Прут-Днестр по представлениям двенадцати различных авторов, которое отличается до сотни километров. Прутский выступ относится различными авторами к Восточно-Европейской платформе, Скифской плите, Преддобруджинскому прогибу или к Северной Добрудже, что, соответственно, влияет и на интерпретацию геодинамики региона.

Исследование ГСЗ по профилю ДОБРЕ-4 [14] указывают на то, что кора Восточно-Европейской платформы ограничена на юго-западе Сфанту-Георгиевским разломом, расположенным

между Северной Добруджей и Прутским выступом. Положение южного сегмента ТЕШЗ и его взаимоотношение со структурами Северной Добруджи анализируется в работе [1,12]. На геотраверсе DOBRE-4, по мнению авторов, СД совпадает с зоной перехода от Евразийской плиты к Альпийско-Гималайскому поясу (АГП). В пределах СД кора ВЕК продолжается на юг под надвинутыми на нее молодыми структурами АГП. На юго-западную окраину ВЕК надвинут герцинско-киммерийский ороген Северной Добруджи, а ТЕШЗ по данным ГСЗ является наклонно падающей на юго-запад системой разломов, отделяющей ВЕК от надвинутого на него палеозойско-мезозойского обрамления.

Рис.1. Тектоническая схема Прутского выступа Северной Добруджи, модифицировано по [3].

1-5 – геологические формации складчатых поясов активной континентальной окраины и их стратиграфический возраст: 1 – гранодиорит-порфировая, 2 – карбонатно-терригенная, 3 – терригенная; 4 – карбонатная; 5 – терригенная; 6-9 – разломные нарушения: 6 – граница Восточно-Европейской платформы; 7 – надвиги; 8 – граница Северной Добруджи с варисским фундаментом и Преддобруджинского прогиба с байкальским фундаментом; 9 – разломы. Белым квадратом обозначен район исследования.

Северная Добруджа (СД) располагается между Мезийской и Скифской платформами, а с северо-запада перекрывается отложениями Фокшанского передового прогиба. СД представляет собой покровно-надвиговое сооружение, которое сформировалось в киммерийский орогенез на месте позднее пермского-киммерийского рифтового бассейна [13]. Северо-Добруджинский ороген вместе с его Прутским сегментом содержит реликты герцинского орогенного пояса, который формировал сутуру между мезийским терейном гондванского происхождения [8,9,15] и южной окраиной ВЕП в период варисского тектогенеза. В *тектоническом отношении* Добруджа представляет собой покровно-надвиговой комплекс, состоящий из надвиговых пластин северной вергентности. В пределах орогена СД выделяются две основные надвиговые пластины Мачин – на юге и Тулча – на севере, разделенные киммерийским надвигом. В процесс надвигания вовлечены бескорневые фрагменты палеозойских осадочных, метаморфических и магматических комплексов [13].

С тектонофизических позиций, геодинамическое развитие СД наиболее детально изучено французским ученым Ж.К. Ипполите [12], полевые тектонофизические исследования которого представляют результаты изучения кинематики разломов и палеонапряжений в пределах всей Добруджи от поздней юры до миоцена. Прутский выступ СД остался неизученным с тектонофизической точки зрения.

Цель исследования.

Полевое изучение деформационных структур (складок и разрывов) в девонских отложениях Прутского выступа Северной Добруджи, определение соответствующих полей напряжений, а также их сопоставление с разломными нарушениями, отраженными на тектонической карте.

Методы исследования.

В работе использованы классические геолого-структурные методы исследования геологических обнажений горных пород. Измерялись линейные и плоскостные элементы геологической структуры и выполнялся их статистический анализ с использованием программ Stereonet и

Stereo32, которые находятся в свободном доступе. Для реконструкции полей напряжений применялся метод структурных парагенезисов, учитывающий взаимную ориентировку разрывов [2, 7]. Для анализа тектонических зеркал с бороздами скольжения и реконструкции полей палеонапряжений использовался кинематический метод тектонофизики и программа *Win-Tensor*. В программу имплементированы методы Правой дигетры и Р-Т осей, основные принципы которых описаны в [2, 7, 10].

Методика полевых тектонофизических работ включала: измерения элементов залегания тектонических трещин и разрывных нарушений; установление их кинематического типа по особенностям перемещений их крыльев и смещений реперных геологических структур. На зеркалах скольжения измерялись элементы залегания борозд и штрихов с определением направления перемещения крыльев разрывов.

Обработка полевых данных с реконструкцией полей напряжений выполнялась с помощью компьютерной программы Win-Tensor, которая позволяет обрабатывать неоднородные выборки тектонофизических данных. Неоднородная выборка может быть обусловлена наложением деформаций разного возраста, которые формировались в полях напряжений различного типа. Программа позволяет разделять исходные данные измерений на однородные группы, устанавливать тип поля палеонапряжений и положение в пространстве главных нормальных осей каждого поля.

Изложение основного материала.

Прутский (или Нижнепрутский) выступ, который находится на территории Украины, является северо-восточным завершением Северо-Добруджинского орогена. Орографически он представляет собой придунайскую низменность, покрытую плавнями и озерами. Породы нижнего палеозоя – нижнего мела вскрыты скважинами в районе Прутского выступа и Преддобруджинского прогиба, на основании чего и с учетом геофизических данных построена тектоническая основа для металлогенической карты Украины [3]. На земной поверхности в районе поселков

Орловка и Новосельское наблюдаются выходы метаморфических сланцев среднего-верхнего девона (рис. 2). Самый

крупный выход находится в пункте наблюдения 1 с координатами 45,320694° с.ш. и 28,412778° в.д.

Рис. 2. Положение пунктов наблюдения на фоне космоснимка (сверху) где были изучены зеленые сланцы среднего-верхнего девона и общий вид пункта наблюдения 1 (внизу).

Состав пород. В пункте наблюдения 1 крутопадающие под углом 40-50° метаморфические породы зеленовато-серого и желтовато – бурого цвета образуют небольшой вал. На некоторых участках обнажается зеленоватая сланцеватая порода с пloyчатой (микроскладчатой) текстурой.

Тут же присутствуют коричневые прослои и включения нарушенные густой сетью кварцевых жил. Породы изучались в срезах и шлифах, один из которых представлен на (рис.3).

Рис.3. Зеленовато-серый кварц-серицитовый сланец под микроскопом при одном николе (слева), при скрещенных николях (справа).

В образцах и шлифах наблюдаются многочисленные микродеформации: следы послойного скольжения со штрихами и бороздами, поперечные разрывы, которые сопровождаются подгибами слоев и микроскладками. По данным микроскопических исследований порода определяется как кварц-серицитовый сланец с вторичной хлоритизацией, возможно серпентинизацией. Хлорит формирует зеленые аморфные скопления (рис.3), что придает некоторым разностям породы зеленоватый цвет. В шлифах в породе наблюдаются многочисленные прослои и жилки буровато-коричневого цвета, обогащенные гидроокислами железа, а также лимонитизированные вкрапления пирита. В шлифах серицит выделяется в виде белых вытянутых кристаллов, которые отчетливо видны при скрещенных николях (рис. 3).

В работе [13] упоминается Орловская серия, которая представлена глубокоководными пелагическими отложениями. Серия характеризуется как девонские глубокоководные кремниевые осадки низкой фации метаморфизма и относится к палеозою типа Тульча. Выходы аналогичных пород обнажаются на южном берегу Дуная в Румынии в осевой части широтной триасовой антиклинали Махмудия (Mahmudia) и погружаются на юг под триасовый комплекс. В пределах

территории Украины на северном берегу Дуная эта триасовая антиклиналь продолжается в районе с. Орловка. Отложения триаса вскрыты скважинами, а их пространственное распространение экстраполируется, как, например, на представленной тектонической схеме (рис.1).

Складчатые деформации. На пунктах наблюдения 1 и 2 были выполнены 19 замеров слоистости и 15 замеров осевых поверхностей микроскладчатости. Девонские сланцы имеют крутое падение в юго-западном направлении, угол которого составляет 30-50° (рис. 4 а, г). Ориентировка слоистости в целом совпадает с плоскостью надвига северо-западного простирания по азимуту 300°, к которому приурочено изученное обнажение (положение надвига показано на рис.1). На рис.4 г плоскость надвига отмечена красной дугой, а измеренные плоскости слоистости изображены черными дугами. Такое соответствие позволяет связать складчатые деформации, приведшие к крутому падению пластов с перемещением по надвигу, которое происходило после отложения пород триаса, очевидно в киммерийский этап тектогенеза. Постриасовый возраст надвигообразования следует из факта надвигания по разлому девонских отложений на триасовые.

Рис.4. Изучение складчатых деформаций на пункте наблюдения:

а – крутопадающая слоистая порода осложнена микроскладчатостью (вид в вертикальной плоскости); б – осевые линии микроскладок субпараллельны между собой (вид в горизонтальной плоскости); в – срез демонстрирует характер микроскладчатости и субпараллельность осевых линий складок; г – круговая стереограмма демонстрирует на нижней полусфере соотношение плоскостей напластования (черные дуги и соответствующие им полюса) и осевых плоскостей микроскладчатости (синие дуги и их полюса). Красной дугой обозначена ориентировка разлома к которому приурочены изученные обнажения девонских отложений (рис.1.).

Характерной особенностью изученных девонских сланцев является наличие пloyчатости или микроскладчатости, которая ориентирована довольно закономерно (рис. 4). Во-первых, осевые плоскости микроскладок и сопряженные с ними разрывы вытягиваются в субпараллельные полосы, что хорошо видно в горизонтальной плоскости и на срезе (рис. 4 б, в), а во-вторых, эти плоскости субперпендикулярны плоскости разлома, что однозначно подтверждается круговой стереограммой. Изображение на нижней полусфере плоскости разлома (красная дуга

и соответствующий ему полюс) и осевых плоскостей микроскладчатости (синие дуги и их полюса) демонстрирует их субортогональность (рис. 4 г). По нашему мнению, пloyчатость связана со сдвиговыми перемещениями в направлении субперпендикулярном простиранию разлома. Это отражает наличие сдвиговых перемещений и по самому разлому, т.к два субперпендикулярных направления представляют собой плоскости максимальных касательных напряжений.

Ориентировки тектонических зеркал и реконструкция полей напряжений

структурно-парагенетическим методом. На пункте наблюдения 1 были измерены ориентировки 42 тектонических зеркал с гладкой отполированной поверхностью скольжения, но только для 12 из них по тектоническим бороздам удалось определить направления и типы перемещения. Анализ ориентировок 42 зеркал проводился структурно-парагенетическим методом.

Анализ 42 тектонических зеркал (зеленые дуги) не только демонстрирует довольно широкий разброс в их

ориентировках, но и позволяет выявить некоторые закономерности в их геометрических отношениях между собой и с зоной разлома (красная дуга на рис. 5). Около половины зеркал субпараллельны зоне разлома, им соответствует самый крупный максимум 1 на рис 5, слева. Шесть зеркал имеют такое же простирание, как и разломом, но противоположное падение. Также присутствуют достаточно крутые зеркала с углами падения 70-85°, ориентированные косо по отношению к разлому, полюса которых формируют два максимума 2 и 3.

Рис. 5. Анализ ориентировок 42 тектонических зеркал.

Слева – сопоставление ориентировок зеркал (зеленые дуги) с плоскостью разлома (красная дуга); справа – стереограмма плотности полюсов тектонических зеркал и реконструкция полей напряжений по взаимному положению максимумов концентрации полюсов.

Попарная интерпретация максимумов концентрации полюсов зеркал (1 и 3, 1 и 2, 2 и 3) которые составляют между собой углы 50-80°, позволила выделить сопряженные пары и определить положение осей максимального сжатия σ_1 и растяжения σ_3 тензора напряжений. Эти пары объединены в легенде рисунка 5 с помощью прямоугольников. Субгоризонтальные оси сжатия для наглядности изображены стрелками разных цветов. Данная интерпретация позволила выделить три направления сжатия. Северо-восточное сжатие (оранжевые стрелки), очевидно, связано с надвиговыми подвижками по разлому. Субмеридиональное сжатие (красные стрелки) отражает правосдвиговые

перемещения вдоль зоны разлома, которые с учетом его падения на юго-восток будут иметь также взбросовую составляющую. ЮВ сжатие (розовые стрелки) связано с деформациями простого сдвига по типу трансформных разломов. При таком направлении сжатия сдвиговые перемещения по разлому могут быть как по левому так и по правому типу.

Ориентировки тектонических зеркал и реконструкция полей напряжений кинематическим методом. Для 12 тектонических зеркал по тектоническим бороздам удалось определить направления и типы перемещения, что позволило реконструировать палеонапряжения с применением программы Win-Tenzor. Реконструкция была выполнена двумя

независимыми методами, методом Правой дигетры (рис.6, а) и Р-Т
имплементированными в программу: осей (рис.6, б).

Рис. 6. Реконструкция поля палеонапряжения по совокупности тектонических зеркал с бороздами скольжения с применением программы Win-TenZor разными методами, имплементированными в программу: а –Правой дигетры (слева), б –Р-Т осей.

Результаты, полученные двумя различными методами достаточно близкие и демонстрируют поле субмеридионального сжатия, близкого к одному из полей, полученных структурно-парагенетическим методом. В таком поле напряжений происходили правосдвиговые перемещения по зоне разлома СЗ 300° простирания, в которой локализовано изученное обнажение.

Обсуждение.

В результате геолого-структурного и тектонофизического анализа на трех пунктах наблюдения в пределах Прутского выступа Северной Добруджи были выявлены три типа поля напряжения и соответствующие им складчатые и разрывные деформации. Интересным представляется сопоставить их с полями напряжений, реконструированными в пределах СД по работе [12]. Орогенная деформация началась в Добрудже в поздней юре в условиях субмеридионального сжатия и продолжалась в течение всего неокома. Для разломов северо-западного простирания в пределах Добруджи отмечается правосдвиговая компонента, что подразумевает перемещение Мизийского блока на северо-запад к океаническому заливу, который ныне занимает Карпатско - Паннонская система. Ж-К Ипполит приходит к выводу, что Добруджинский орогена был построен в поле С-Ю (ССЗ - ЮВВ) сжатия в течение

поздней юры - баррема. При этом он отмечает, что в пределах современной Добруджи мезозойские орогенные деформации распределены между надвигом на севере и правым сдвигом по разломам северо-западного простирания на юге, что может быть результатом изгиба киммерийского орогенного пояса от северо-восточного простирания в Крыму до северо-западного простирания в Добрудже [12]. Субмеридиональное направление сжатия было получено и в данном исследовании тремя независимыми методами: структурно-парагенетическим, Правой дигетры и Р-Т осей. Это поле связано с правосдвиговыми перемещениями по разломам северо-западного простирания. Также структурно-парагенетическим методом получено поле сжатия юго-западного направления, которое отражает надвиговые перемещения по разломам северо-западного простирания, которые входят в систему Сфанту-Георгиевского разлома, отделяющего Северную Добруджу вместе с Прутским выступом от Преддобруджинского прогиба. Ориентировка слоистости на изученных обнажениях отражает складчатые деформации сжатия, связанные с посттриасовым надвигом по разлому северо-западной ориентировки. Такие результаты позволяют сделать вывод, что Прутский выступ развивался в аналогичных с СД условиях деформации. Поле юго-восточного сжатия, восстановленное по

структурным парагенезисам разрывов, возможно, связано с воздействием юго-восточной дуги Карпатского надвигового фронта. В результате такого сжатия по разломам северо-западного простирания происходят сдвиговые перемещения, в основном, левого типа, что отчетливо видно по смещениям внешней границы Предкарпатского прогиба вдоль этих разломов по левому типу (рис. 1, врезка). Возможно, давление со стороны Карпатского надвигового фронта передалось в Добруджу и стало причиной ее неотектонического воздымания между нижним течением Дуная и Черным морем и формирования вала, ориентированного субмеридионально, вкрест простирания древних герцинских и киммерийских структур.

Выводы.

В природных обнажениях на Прутском выступе Северной Добруджи изучены складчатые и разрывные деформации в кварц-серицитовых сланцах среднего-верхнего девона, а также реконструированы соответственные им поля напряжений. Установлено, что ориентировка слоистости в целом совпадает с плоскостью надвига северо-западного простирания по азимуту 300°, к которому приурочены изученные обнажения. Такое соответствие позволяет связать складчатые деформации, приведшие к крутому падению пластов с перемещением по надвигу в поле северо-восточного сжатия. Надвигание происходило после отложения пород триаса, очевидно, в киммерийский этап тектогенеза.

Тремя независимыми методами реконструировано поле меридионального сжатия, которое отражает правосдвиговое перемещение по разлому северо-западного простирания. Показано, что микроскладчатость, которая является характерной особенностью девонских сланцев ориентирована довольно закономерно и связана со сдвиговыми перемещениями в направлении субперпендикулярном простиранию разлома. Это отражает наличие сдвиговых деформаций как по самому разлому, так и в перпендикулярном направлении. Эти два субперпендикулярных направления представляют собой плоскости максимальных касательных напряжений.

Поле юго-восточного сжатия, восстановленное по структурным парагенезисам разрывов, возможно, связано с воздействием юго-восточной дуги Карпатского надвигового фронта. В результате такого сжатия по разломам северо-западного простирания происходят сдвиговые перемещения, в основном, левого типа.

Список литературы

1. Амашукели, Т.В., Муровская, А.В., Егорова, Т.П. Глубинное строение Добруджи и Преддобруджинского прогиба как отражение развития Транс-Европейской шовной зоны. *Геофизический журнал*. 2019. 42(1). С. 153—171. doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158869.
2. Гинтов, О.Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: «Феникс», 2005. 572 с.
3. Гошовський С.В. Комплексна металогенічна карта України, м-б: 1:500 000, 2002. К.: Міністерство екології та природних ресурсів України. Державна геологічна служба.
4. Гурський Д.С., Круглов С.С. Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000 000. Пояснювальна записка. Ч.1. Київ, УкрДГРІ, 2007. 95 с.
5. Мокряк І. М. До питання про положення південно-західної границі Східноєвропейської платформи. *Мінеральні ресурси України*. 2014. № 2. С.15-19.
6. Муровская, А.В. (). Особенности геодинамического развития регионов Украины. Геодинамика Добруджи. В кн.: В.И. Старостенко, О.Б. Гинтов (Ред.), *Очерки геодинамики Украины*, 2018. Киев: ТОВ "ПІДПРИЄМСТВО "ВІЕНЕЙ". С. 202—210.
7. Ребецкий, Ю.Л., Сим, Л.А., Маринин, А.В. (). От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы, 2017. Москва: ГЕОС.
8. Balintoni I., Balica C., Seghedi A., Ducea M. Peri-Amazonian provenance of the Central Dobrogeaterrane (Romania) attested by U/Pb detrital zircon age patterns. *Geologica Carpathica*. August 2011. 62, 4. P. 299—307
9. Balintonia I., Balica C. Peri-Amazonian provenance of the Euxinic Craton components in Dobrogea and of the North Dobrogean Orogen components (Romania): a detrital zircon study. *Precambrian Research*. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2016.03.008>.
10. Devlaux D., Sperner B. (). New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. *Geological Society, London, Special Publications*. 2003. 212, P. 75—100.
11. Grad M. Podolian, Saxonian and baltic plates – Teisseyre-Tornquist Line and the edge of the East European Craton. *Geochemistry* (in press). 2019.
12. Hippolyte, J.-C. Geodynamics of Dobrogea (Romania): new constraints on the evolution of the Tornquist–Teisseyre Line, the Black Sea and the Carpathians. *Tectonophysics*. 2002. 357. P. 33 – 53.
13. Seghedi Antoneta.(). Paleozoic Formations from Dobrogea and Pre-Dobrogea. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 2012. Vol. 21. P. 669—721.

14. Starostenko V., Janik T., Lysynchuk D., Šroda P., Czuba W., Kolomiyets K., Gintov O., Omelchenko B., Komminaho K., Guterch A., Tiira T., Gryn D., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A. Mesozoic lithosphere-scale buckling of the East European Craton in southern Ukraine: DOBRE-4 deep seismic profile. - *Geophysical Journal International*. 2013. 195. P. 740-766.

15. Vaida, M., Seghedi, A., Verniers, J., Northern Gondwana affinity of Moesian Terrane based on chitin zoans. *Tectonophysics*. 2005. 410. P. 379 – 387.

References

1. Amashukeli, T.V., Murovskaya, A.V., Egorova, T.P. Glubinnoe stroenie Dobrudzhi i Preddobrudzhinskogo progiba kak otrazhenie razvitiya Trans-Evropeyskoy shovnoy zony. *Geofizicheskiy zhurnal*. 2019. 42(1). P. 153 – 171. doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v41i1. 2019.158869.

2. Gintov, O.B. Poleyvaya tektonofizika i ee primeneniye pri izuchenii deformatsiy zemnoy koryi Ukrainy. Kiev: «Feniks», 2005. 572 p.

3. Goshovskiy S.V. Kompleksna metalogenichna karta UkraYini, m-b: 1:500 000, 2002. K.: MInIsterstvo ekologiyi ta prirodnih resursiv UkraYini. Derzhavna geologichna sluzhba.

4. Gurskiy D.S., Kruglov S.S. Tektonichna karta UkraYini. Masshtab 1:1000 000. Poyasnyvalna zapiska. Ch.1. KiYiv, UkrDGRI, 2007. 95 s.

5. Mokriak I. M. Do pytannia pro polozhennia pivdenno-zakhidnoi hranytsi Skhidnoevropeiskoi platformy. Mineralni resursy Ukrainy. 2014. № 2. P. 15-19.

6. Murovskaya, A.V. (). Osobennosti geodinamicheskogo razvitiya regionov Ukrainy. Geodinamika Dobrudzhi. V kn.: V.I. Starostenko, O.B. Gintov (Red.), Ocherki geodinamiki Ukrainy, 2018. Kiev: TOV "PIDPRIEMSTVO "VIENEY". P. 202-210

7. Rebetskiy, Yu.L., Sim, L.A., Marinin, A.V. (). Ot zerkal skolzheniya k tektonicheskim napryazheniyam. Metodiki i algoritmy, 2017. Moskva: GEOS.

8. Balintoni I., Balica C., Seghedi A., Ducea M. Peri-Amazonian provenance of the Central Dobrogeaterrane (Romania) attested by U/Pb detrital zircon age patterns. *Geologica Carpathica*. August 2011. 62, 4. P. 299—307

9. Balintoni I., Balica C. Peri-Amazonian provenance of the Euxinic Craton components in Dobrogea and of the North Dobrogean Orogen components (Romania): a detrital zircon study. *Precambrian Research*. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2016.03.008>.

10. Devlaux D., Sperner B. (). New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. *Geological Society, London, Special Publications*. 2003. 212, P. 75–100.

11. Grad M. Podolian, Saxonian and Baltic plates – Teisseyre-Tornquist Line and the edge of the East European Craton. *Geochemistry* (in press). 2019.

12. Hippolyte, J.-C. Geodynamics of Dobrogea (Romania): new constraints on the evolution of the Tornquist–Teisseyre Line, the Black Sea and the Carpathians. *Tectonophysics*. 2002. 357. P. 33 – 53.

13. Seghedi Antoneta. (). Paleozoic Formations from Dobrogea and Pre-Dobrogea. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 2012. Vol. 21. P. 669–721.

14. Starostenko V., Janik T., Lysynchuk D., Šroda P., Czuba W., Kolomiyets K., Gintov O., Omelchenko B., Komminaho K., Guterch A., Tiira T., Gryn D., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A. Mesozoic lithosphere-scale buckling of the East European Craton in southern Ukraine: DOBRE-4 deep seismic profile. - *Geophysical Journal International*. 2013. 195. P. 740-766.

15. Vaida, M., Seghedi, A., Verniers, J., Northern Gondwana affinity of Moesian Terrane based on chitin zoans. *Tectonophysics*. 2005. 410. P. 379 – 387.

Надійшла до редакції 20.12.2019

Анна Муровская, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд. отдела тектонофизики, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины. Пр. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина.
E-mail: murovskaya@gmail.com

Евгений Поляченко, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд., Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины. Пр. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина.
E-mail: poliachenkoib@gmail.com

Виктор Шпыра, мл. науч. сотруд. Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины. Пр. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина.
E-mail: spyra@gmail.com

Светлана Тихливец, ст. препод. кафедры геологии и прикладной минералогии, Криворожский национальный университет, кандидат геологических наук, пл. Пушкина 37, г. Кривой Рог, 50002.
E-mail: tikhlivets.svetlana@gmail.com

ДЕФОРМАЦІЙНІ СТРУКТУРИ І ПОЛЯ НАПРУЖЕНЬ ПРУТСЬКОГО ВИСТУПУ ПІВНІЧНОЇ ДОБРУДЖИ В КОНТЕКСТІ ГЕОДИНАМІКИ ДОБУДЖІ (ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПОЛЬОВИХ ТЕКТОНОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ).

Мета. Польове вивчення деформаційних структур (складок і розривів) в девонських відкладах Прутського виступу Північної Добруджі і визначення відповідних полів напружень, а також їх зіставлення з регіональними розломними порушеннями.

Методика. Вимірювалися лінійні та площинні елементи геологічної структури, виконувався їх статистичний аналіз з використанням програм Stereonet і Stereo32. Для реконструкції полів напружень застосовувався метод структурних парагенезів, що враховує орієнтування розривів. Для реконструкції полів палеонапружень по набору тектонічних дзеркал ковзання і борозен на їх площинах використовувався кінематичний метод і програма Win-Tensor.

Результати. У природних відслоненнях Прутського виступу Північної Добруджі вивчені складчасті і розривні деформації в кварц-серіцитових сланцях середнього-верхнього девону, а також реконструйовані відповідні їм поля палеонапружень. Встановлено, що орієнтування шаруватості в цілому збігається з площиною насуву північно-західного простягання по азимуту 300° , до якого приурочені вивчені відслонення. Таке співпадіння дозволяє зв'язати складчасті деформації, що призвели до крутого падіння пластів з переміщенням по насуву в полі північно-східного стиснення, яке відбувалося після відкладення порід тріасу, очевидно в кіммерійський етап тектогенезу.

Трьома незалежними методами реконструйовано поле меридіонального (північ-північно-східного) стиснення, яке відображає правозсувне переміщення по розлому північно-західного простягання. Показано, що мікроскладчастість, яка є характерною особливістю девонських сланців, орієнтована закономірно і пов'язана зі зсувними переміщеннями в напрямку субперпендикулярному простягання розлому. Це відображає наявність зсувних переміщень як в зоні самого розлому, так і в спряженому напрямку. Поле південно-східного стиснення, відновлене по структурним парагенезам розривів, можливо, пов'язано з тиском південно-східної дуги Карпатського насувного фронту. В результаті такого стиснення по розломах північно-західного простягання відбуваються лівозсувні переміщення по типу трансформних.

Наукова новизна. Вперше детально вивчено розривні і складчасті деформації девонських сланців орловської серії в межах Прутського виступу Північної Добруджі, реконструйовані відповідні палеонапруження і запропонована їх геодинамічна інтерпретація.

Практичне значення. Реконструйовані поля напружень можуть бути використані для уточнення кінематичного типу і етапів активізації розривних порушень системи Сфанту-Георгіївського розлому, який обмежує ороген Північної Добруджі, а також при геодинамічних реконструкціях південного сегмента Транс-Європейської шовної зони.

Ключові слова: Прутський виступ, Північна Добруджа, складчасті деформації, дзеркала ковзання, поля палеонапружень.

Ганна Муровська, канд. геол. наук, ст. наук. співробітник відділу тектонофізики, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Пр. Палладіна, 32, г. Київ, 03680, Україна.
E-mail: murovskaya@gmail.com

Євген Поляченко, канд. геол. наук, ст. наук. співробітник, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Пр. Палладіна, 32, г. Київ, 03680, Україна.
E-mail: poliachenkoib@gmail.com

Віктор Шпіра, м. наук. співробітник, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Пр. Палладіна, 32, г. Київ, 03680, Україна.
E-mail: spyra@gmail.com

Світлана Тіхлівець, ст. викладач кафедри геології і прикладної мінералогії, Криворізький національний університет, кандидат геологічних наук, вул. Пушкіна 37, м. Кривий Ріг, 50002.
E-mail: tikhlivets.svetlana@gmail.com

DEFORMATION STRUCTURES AND STRESS FIELDS WITHIN PRUT PROMONTORY OF NORTH DOBROGEA IN CONTEXT OF DOBRUDZHA GEODYNAMICS (BY FIELD TECTONOPHYSICS STUDY)

Purpose. Field study of deformation structures (folds and fracture) in the devonian deposits of the Prut Promontory of North Dobrogea and restoration of the corresponding stress fields, as well as their comparison with regional faults.

Method. The linear and planar elements of the geological structure were measured and their statistical analysis was performed using the Stereonet and Stereo32 software. For the reconstruction of stress fields, the method of structural paragenesis was used, taking into account the orientation of the fracture. The kinematic method and the Win-Tensor program were used to reconstruct paleostresses on a set of tectonic slicken-slides and furrow mirrors on their planes.

Results. In the natural outcrops of the Prut Promontory of North Dobrogea, the folded and fractured deformations in the quartz-sericite shale of the middle-upper Devonian were studied, as well as the corresponding stress fields were reconstructed. The shale bedding coincides with the plane of thrust trending northwestern 300° , to which the studied outcrops are spatially connected. Obviously the steep bedding connected to northeastern overthrusting, which occurred after the deposition of the Triassic rocks, apparently in the cimmerian stage of tectogenesis.

The south-north compression reconstructed by three methods reflects the right strike-slip movement along the northwest trending fault. Characteristic micro folding of the Devonian shale oriented regular to northwestern trending fault suggested to be associated with strike-slip displacements in the perpendicular to the fault direction. This reflects the presence of shear displacements both in the fault zone itself and in the conjugate direction. The southeastern compression restored by structural paragenesis of fractures may be related to the pressure of the southeast arc of the Carpathian thrust front. As a result of this compression, left- strike-slip displacements of the transform type occur on the NW-trending faults.

Scientific novelty. For the first time, the fractured and folded deformations of the Devonian shale of the Orlovka series within the Prut Promontory of the North Dobrogea were studied in detail, the corresponding paleo-stresses were reconstructed and their geodynamic interpretation proposed.

Practical value. The reconstructed stress fields can be used to clarify the kinematic type and stages of activation of the Sfantu-Georgievsky fault system, which borders the orogen of Northern Dobrudzha, as well as for geodynamic reconstructions of the southern segment of the Trans-European Suture Zone.

Keywords: Prut Promontory, North Dobrogea, folding, slicken-sides, paleostress fields.

Murovska Anna, Doctor of geological sciences, Senior Researcher of the Division of tectonophysics, Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine (32 Palladin Ave., Kiev, 03680, Ukraine).

E-mail: murovskaya@gmail.com

Polyachenko Evgeniy, Doctor of geological sciences, Senior Researcher of the Department of Petromagnetism and Marine Geophysics, Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine (32 Palladin Ave., Kiev, 03680, Ukraine).

E-mail: poliachenkoib@gmail.com

Shpyra Viktor, Junior Researcher of the Department of Petromagnetism and Marine Geophysics, Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine (32 Palladin Ave., Kiev, 03680, Ukraine).

E-mail: spyra@gmail.com

Svitlana Tikhlivets, Senior Lecturer of Department «Geology and Applied Mineralogy», Kryvyi Rih National University, Ph(D) (Geology), Pushkina 37, Kriviy Rig, 50002 Ukraine

E-mail: tikhlivets.svetlana@gmail.com