

Напряженно-деформированное состояние и динамика аллохтонной части Предкарпатского прогиба в связи с нефтегазоносностью (по тектонофизическим данным)

© *О. Б. Гинтов*¹, *И. Н. Бубняк*², *А. Н. Бубняк*³, *Ю. М. Вихоть*¹,
*С. В. Мычак*¹, *М. В. Накапелюх*¹, 2013

¹Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

²Львовский национальный университет им. И. Франко, Львов, Украина

³«Кадоган Украина», Киев, Украина

Поступила 1 августа 2012 г.

Представлена членом редколлегии Р. И. Кутасом

Наведено результати тектонофізичного вивчення Скибового, Бориславсько-Покутського і Самбірського покривів Українських Карпат. Розглянуто їх напружено-деформований стан, регіональні та локальні поля напруження, визначено їх вікові співвідношення. Показано, що Бориславсько-Покутський покрив, на відміну від Скибового, зазнав після загальнокарпатського стиску досить сильне всебічне розтягування, що привело, з одного боку, до насичення його внутрішньої частини вуглеводнями, з іншого — до звітрювання газової складової.

Results of tectonophysical studies of the Scyba, Boryslav-Pokut and Sambor nappes of the Ukrainian Carpathians have been presented. Their deflected mode, regional and local fields of strain have been considered and age relations have been specified. It has been shown that the Boryslav-Pokut nappe, in contrast to Scyba nappe after total Carpathian compression suffered sufficiently strong all-round extension that resulted on one hand in saturation of its interior part with hydrocarbons but on the other hand in escape of gas component.

Ранее на основе полевых тектонофизических данных авторами работ [Бубняк та ін., 2001; Гинтов и др., 2011; Вихоть та ін., 2011, Вихоть, Бубняк, 2011] были изучены напряженно-деформированное состояние (НДС) и динамика Скибового покрова Украинских Карпат, после чего сразу же возник вопрос: что может дополнительно внести полевая тектонофизика в комплексе со структурно-геологическими исследованиями в решение проблемы концентрации основной массы нефтегазовых месторождений во внешней зоне Скибового покрова и в Предкарпатском прогибе?

С этой целью последующие тектонофизические исследования были сконцентрированы в зоне перехода от Скибового покрова Складчатых Карпат к Бориславско-Покутскому покрову, а также в Бориславско-Покутском и Сам-

борском покровах Предкарпатского прогиба. Работы велись по рекам Стрый (р-н с. Нижнее Синевидное), Сукиль (р-н г. Болехов), Быстрица Надворнянская (р-н г. Надворная), Прут (р-н г. Делятин), карьерах (р-н г. Долина и с. Подорожное). В этих районах расположены известные (действующие и отработанные) нефтегазовые месторождения — Долинское, Южно-Долинское, Выгода-Витвицкое, Семигиновское, Стыванское, Быстрицкое, Довбушанское, Пасичнянское, Бытковское, Гвиздецкое, Пнивское и Грынвское газовое месторождение (рис. 1).

Помимо полевых данных использовались также карты и разрезы Скибового покрова и аллохтонной части Предкарпатского прогиба (рис. 2), на которых отображены основные зоны разломов региона (в основном субмеридиональные зоны, а также продольные и попе-

речные по отношению к простиранию Украинских Карпат). Это дало возможность оценить характер НДС земной коры при формировании крупных разрывных структур, играющих немаловажную роль в накоплении и перераспределении углеводородов [Бубняк, 2006].

Была поставлена задача сравнения НДС и некоторых деталей структуры Скибового и Бориславско-Покутского покровов для установления их близких черт либо принципиальных отличий.

Полевые измерения, обработка и интерпретация полученных данных выполнялись в соответствии с методикой, подробно изложенной в статье [Гинтов и др., 2011] и монографии [Гинтов, 2005]. Поэтому далее будут упомянуты лишь некоторые принципиальные особенности интерпретации тектонофизических и структурно-геологических материалов.

Восстановление палеополей напряжений по картографическим материалам [Бубняк, 2006] выполнялось несколькими методами, в основу которых положены известные результаты физического и численного моделирования процессов разломообразования. При этом генеральные продольные зоны разломов идентифицировались как L-сколы, поперечные — как L'-или R'-сколы, субмеридиональные — как сколы Риделя.

В полевых тектонофизических исследованиях основное внимание уделялось измерению элементов залегания и парагенезисам трещин и зеркал скольжения. По отработанной в Карпатах методике [Аронский и др., 1995; Гинтов и др., 2011] системы трещин подразделялись на нормальносекущие (катетальные), кососекущие и субвертикальные. Первые образовались еще при горизонтальном залегании слоев сразу после их отложения и начальной стадии диагенеза. Они отражают либо планетарную трещиноватость (при субмеридиональной и субширотной ориентации осей сжатия σ_1 и растяжения σ_3), либо конечную фазу отложения осадочной толщи (при северо-восточно—юго-западной ориентировке оси σ_3), либо самую начальную фазу общекарпатского сжатия (при северо-восточно—юго-западной ориентировке оси σ_1). Кососекущая трещиноватость образовалась во время формирования складчатости, а субвертикальная — на новейшем и современном этапах. Пример разделения систем трещин на эти три типа показан на рис. 3. Подобное разделение сделано по всем участкам наблюдений.

На рис. 4 изображены результаты определения палеополей напряжений по парагене-

зисам трещин и зеркалам скольжения в пределах всех участков наблюдений. Рассмотрим их более подробно.

Нижнесиневидагенский участок (рис. 4, I). Это крайняя северо-восточная обнаженная часть Береговой скибы Скибового покрова по правому берегу р. Стрый (отложения стрыйской и ямненской свит в позднем мелу — раннем палеогене и ямненской свиты в раннем палеогене). По парагенезисам нормальносекущих трещин здесь зафиксировано сдвиговое поле напряжений общекарпатского сжатия σ_1 — $220/05^\circ$, σ_3 — $310/10^\circ$. По кососекущим трещинам восстановлено взбросовое поле напряжений продольного (по отношению к простиранию Скибового покрова) сжатия σ_1 — $320/20^\circ$, σ_3 — $175/70^\circ$. По субвертикальным в современном залегании трещинам определено сдвиговое поле общекарпатского сжатия σ_1 — $242/05^\circ$, σ_3 — $332/05^\circ$.

Все три типа полей были зафиксированы в Скибовом покрове и ранее [Гинтов и др., 2011]. Первое поле отражает начало общекарпатского сжатия, когда отложения палеогена залежали еще горизонтально. Второе поле относится к этапу складко- и надвигообразования, когда Украинские Карпаты испытывали динамическое воздействие формировавшихся субширотных отрезков Бескид и Южных Карпат. Третье, послемiocеновое, поле фиксирует момент, когда складкообразование уже завершилось, но общекарпатское сжатие в сдвиговом режиме еще продолжалось.

Болеховский участок (рис. 4, II—IV). Юго-западная часть участка охватывает два расположенных рядом у дороги Болехов — Тысив обнажения менилитовой свиты Береговой скибы Скибового покрова.

В первом (юго-западном) обнажении по парагенезисам нормальносекущих трещин зафиксировано реверсное сдвиговое поле субмеридионального и субширотного сжатия — субширотного и субмеридионального растяжения: σ_1 — $173/06^\circ$, σ_3 — $263/06^\circ$; σ_1 — $272/06^\circ$, σ_3 — $002/07^\circ$. Оба поля отражают процесс формирования планетарной трещиноватости на стадии диагенеза песчаников менилитовой свиты. По парагенезисам кососекущих трещин установлены следующие поля напряжений: сбросо-взбросовое (шарьяжное) σ_1 — $68/50^\circ$, σ_3 — $240/41^\circ$; взбросовое поле субширотного направления σ_1 — $101/26^\circ$, σ_3 — $260/59^\circ$; поле сдвиго-взбросовое субмеридионального сжатия σ_1 — $190/07^\circ$, σ_3 — $280/38^\circ$ и растяжение карпатского направления σ_1 — $327/77^\circ$, σ_3 — $57/11^\circ$.

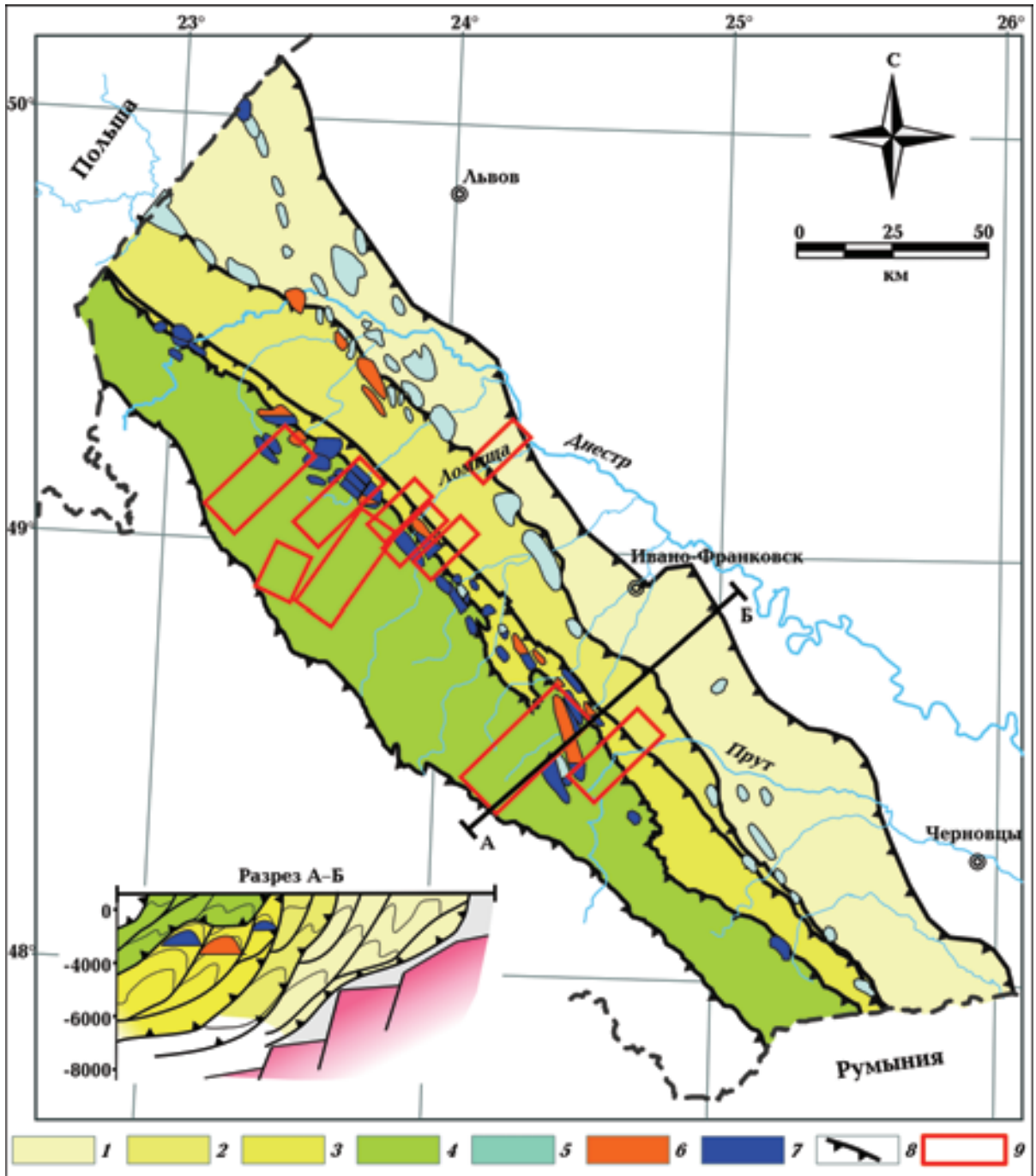


Рис. 1. Обзорная карта района исследований, по [Геологічна ..., 2007]: 1 — Бильче-Волицкая зона, 2 — Самборский покров, 3 — Бориславско-Покутский покров, 4 — Скибовый покров; 5—7 — месторождения (5 — газовые, 6 — газоконденсатные, 7 — нефтяные); 8 — границы зон и покровов, 9 — участки тектонофизических исследований 2010—2011 гг.

Первые два поля можно отнести к этапу формирования складчато-надвиговой структуры Скибового покрова, тем более что в обнажении породы имеют меридиональное простирание (см. рис. 4, II). Третье поле напряжений отражает процесс надвигообразования в Бескидах и Юж-

ных Карпатах (как и на предыдущем участке), а четвертое — сбросы и оползневые процессы, происходившие во фронтальных частях скиб. По субвертикальным в современном залегании трещинам восстановлены сдвиговые поля общекарпатского сжатия и растяжения, когда склад-

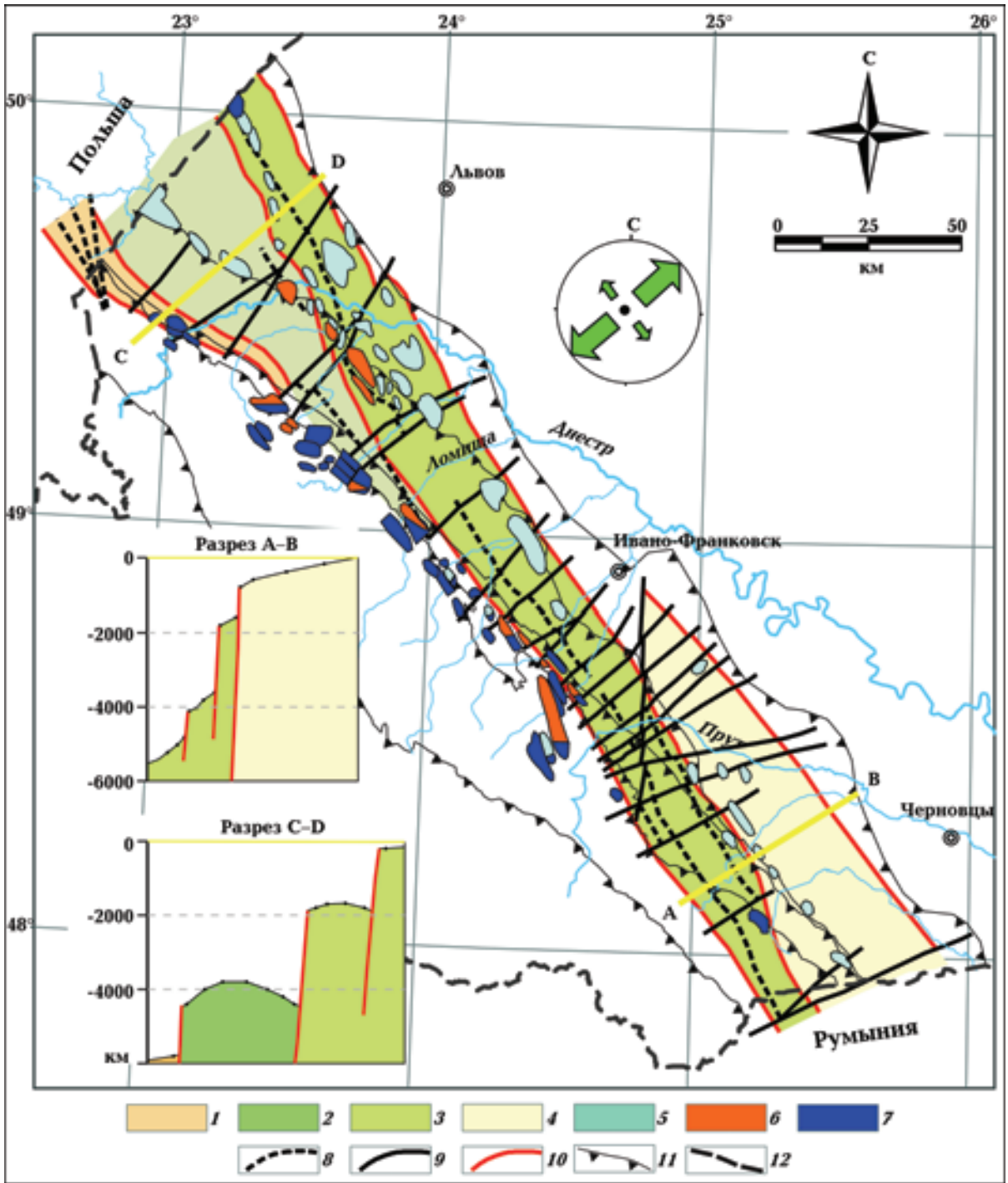


Рис. 2. Карта основных зон разломов Скибового покрова и Предкарпатского прогиба, по [Бубняк, 2006]: 1 — Добромыльский блок, 2 — Краковецкий блок, 3 — Угерско-Косовский блок, 4 — Сторожинецкий блок, 5—7 — месторождения (5 — газовые, 6 — газоконденсатные, 7 — нефтяные), 8—10 — разломы (8 — продольные, 9 — поперечные, 10 — ограничивающие блок Внешней зоны), 11 — надвиги, 12 — государственная граница Украины. На разрезах показаны относительные уровни перечисленных блоков на неотектоническом этапе.

кообразование уже закончилось: σ_1 — 245/02°, σ_3 — 342/04°; σ_1 — 220/05°, σ_3 — 130/05°; σ_1 — 185/02°, σ_3 — 275/09°.

Во втором обнажении, примыкающем к первому с северо-востока, по парагенезисам нормальносекущих трещин восстановлено сдвиго-

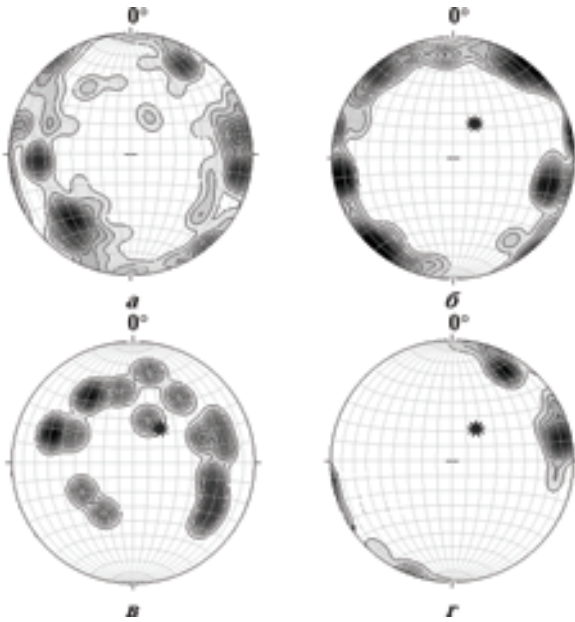


Рис. 3. Стереограммы полюсов трещин в отложениях вортыщенской свиты нижнего миоцена Болевского участка: а — всех трещин, б — нормально-насекущих, в — косых, г — субвертикальных.

вое поле σ_1 — 232/04°, σ_3 — 322/12°, отражающее начало общепарпатского сжатия (рис. 4, III). По кососекущим трещинам определены: поле взбросового типа общепарпатского сжатия σ_1 — 211/00°, σ_3 — 300/58°; общепарпатское сбросо-взбросовое поле (шарьяжное) σ_1 — 53/40°, σ_3 — 202/50°; сдвиговое и взбросовое поля антикарпатского направления σ_1 — 150/02°, σ_3 — 245/30°; σ_1 — 324/20°, σ_3 — 170/70°. По субвертикальным в современном залегании трещинам восстановлены сдвиговые поля σ_1 — 220/12°, σ_3 — 310/06° и σ_1 — 170/05°, σ_3 — 260/10°, отражающие, как и в предыдущем обнажении, окончание складкообразовательного процесса.

В настоящей статье авторы не останавливаются подробно на описании напряженно-деформированного состояния юго-западной части Болевского участка, относящейся к Скибовому покрову, так как приведенные поля напряжений и деформационные режимы полностью повторяют данные, полученные при детальном изучении этого покрова и изложенные в работе [Гинтов и др., 2011].

В северо-восточной части рассматриваемого участка, относящейся уже к Предкарпатскому прогибу — Бориславско-Покутскому покрову (Б-ПП), расположен Болевский карьер, в котором добываются глины вортыщенской сви-

ты нижнего миоцена. Породы падают на северо-восток под углом ~ 30°. По парагенезисам нормальнонасекущих трещин в песчаниках этой свиты (см. рис. 4, IV) установлено сдвиговое поле напряжений с усредненными координатами главных осей σ_1 — 197/05°, σ_3 — 287/10°, отражающее формирование планетарной трещиноватости в породах свиты после ее отложения и начальной литификации.

Весьма интересны результаты изучения кососекущей трещиноватости в песчаниках карьера, все без исключения парагенезисы которой указывают на сбросовый деформационный режим с субвертикальной осью σ_1 . Осредненные поля напряжений σ_1 — 149/85°, σ_3 — 240/08° и σ_1 — 149/85°, σ_3 — 298/00° свидетельствуют об одновременном общепарпатском и антикарпатском растяжении, т. е. о прогибании района исследований, когда складчатость до конца еще не сформировалась. Субвертикальные трещины в современном залегании также указывают на растяжение бассейна (σ_1 — 145/10°, σ_3 — 55/13°) в недавнем прошлом и, возможно, в настоящее время.

Гошевский участок (рис. 4, V) расположен в правом борту автодороги Болев — Долина к югу от Гошевского монастыря. Здесь обнажены полого падающие в западно-северо-западных румбах песчаники и аргиллиты менилитовой свиты Береговой скибы вблизи ее сочленения с Б-ПП. По парагенезисам нормальнонасекущих разрывов установлено сдвиговое поле напряжений σ_1 — 259/02°, σ_3 — 349/04°, отражающее раннюю стадию формирования планетарной трещиноватости. Складко- и надвигообразование происходило в поле общепарпатского (σ_1 — 219/07°, σ_3 — 309/30°) и антикарпатского (σ_1 — 291/00°, σ_3 — 216/75°) сжатия и завершилось деформациями сбросового типа (σ_1 — 70/68°, σ_3 — 170/05°). Как видно из характера полей напряжений и простиранения слоистости, антикарпатское (продольное) сжатие сыграло на данном участке основную роль.

По парагенезисам вертикальных трещин в современном залегании установлены молодые сдвиговые поля напряжений общепарпатского сжатия и растяжения σ_1 — 237/10°, σ_3 — 328/24° и σ_1 — 150/02°, σ_3 — 240/20°. Следовательно, антикарпатское сжатие в пределах участка было локальным.

Подорожнянский участок (рис. 4, VI) располагается в пределах Самборского покрова на наибольшем удалении от контакта Предкарпатского прогиба со Скибовым покровом. Плохие

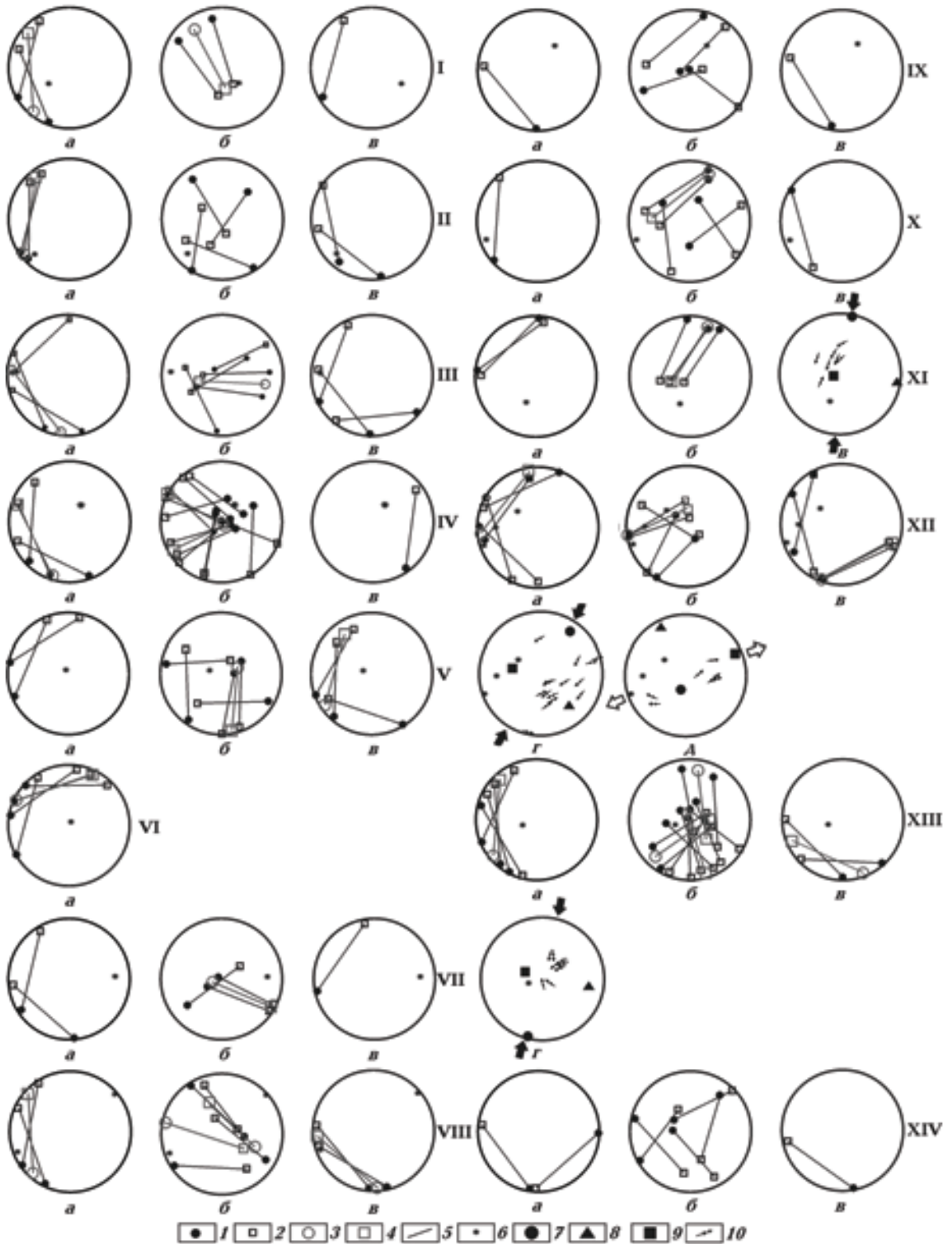


Рис. 4. Стереодиаграммы координат осей напряжений, определенных по парагенезисам нормальносекущей (а), кососекущей (б) и субвертикальной (в) систем трещин, а также по зеркалам скольжения (г, д): 1 — ось сжатия, 2 — ось растяжения; 3, 4 — средние оси (3 — сжатия, 4 — растяжения); 5 — линии, соединяющие оси сжатия и растяжения одного поля; 6 — элементы залегание пласта; на стереодиаграммах зеркал скольжения: 7 — ось сжатия, 8 — промежуточная ось, 9 — ось растяжения, 10 — вектор подвижки. Участки исследований: I — г. Стрый; II—IV — г. Болехов; V — с. Гошев; VI — с. Подорожное; VII — г. Долина; VIII—X — г. Надворная; XI—XIV — г. Делятин — с. Заречье.

условия доступа к обнажению не позволили изучить все структурные особенности породных комплексов. По парагенезисам нормальносекущих и субвертикальных в современном залегании трещин установлено сдвиговое поле с ориентацией осей $\sigma_1 — 297/05^\circ$, $\sigma_3 — 27/08^\circ$, которое отражает общекарпатское растяжение в конце отложения осадков дашавской свиты верхнего неогена, и поле с осями $\sigma_1 — 240/00^\circ$, $\sigma_3 — 330/06^\circ$, свидетельствующее о продолжении общекарпатского сжатия уже после надвигообразования.

Долинский участок (рис. 4, VII) представляет собой карьерную разработку менилитовых отложений в пределах Б-ПП. Напластование простирается в субмеридиональном направлении и круто падает на восток под углом $70—75^\circ$.

Парагенезисы нормальносекущей трещиноватости указывают на планетарное поле субмеридионального сжатия $\sigma_1 — 175/02^\circ$, $\sigma_3 — 265/08^\circ$ и сдвиговое поле раннекарпатского сжатия $\sigma_1 — 240/06^\circ$, $\sigma_3 — 330/09^\circ$.

По косесекущей системе трещин восстановлено надвиговое (почти шарьяжное) поле общекарпатского сжатия $\sigma_1 — 235/29^\circ$, $\sigma_3 — 56/61^\circ$ и сбросовое поле с юго-восточной ориентацией оси растяжения $\sigma_1 — 247/76^\circ$, $\sigma_3 — 120/05^\circ$. Заметим, что деформационный режим растяжения на участке подтверждается вдвое большим количеством парагенезисов, чем режим сжатия.

Сдвиговое поле напряжений $\sigma_1 — 258/05^\circ$, $\sigma_3 — 348/07^\circ$, восстановленное по субвертикальным в современном залегании трещинам, представляет, скорее всего, продолжающееся растяжение земной коры Б-ПП.

Надворнянский участок (рис. 4, VIII—X) располагается на правом и левом берегах р. Быстрица Надворнянская, начинаясь выше по течению от с. Пнив (р-н горы Цепыга), и продолжается вниз по течению до юго-западной окраины г. Надворная. Он охватывает крайнюю северо-восточную часть Береговой скибы (менилитовые отложения), а также стебницкие и добрововские отложения Б-ПП.

В районе горы Цепыга (рис. 4, VIII) в породах верхнеменилитовой подсвиты (поставленные "на голову" переслаивающиеся песчаники, алевролиты и аргиллиты, иногда силициты) по парагенезисам нормальносекущей трещиноватости установлены сдвиговые поля $\sigma_1 — 205/04^\circ$, $\sigma_3 — 295/05^\circ$ и $\sigma_1 — 235/03^\circ$, $\sigma_3 — 325/04^\circ$. Среднее поле $\sigma_1 — 220/04^\circ$, $\sigma_3 — 310/04^\circ$ указывает на начало общекарпатского сжатия, предшествовавшего фазе складчатости. По системе косесекущих трещин опреде-

лены три основных поля: сдвига-взбросовое $\sigma_1 — 235/04^\circ$, $\sigma_3 — 145/32^\circ$, отражающее начало фазы складкообразования; взбросовое поле напряжений антикарпатского сжатия $\sigma_1 — 327/05^\circ$, $\sigma_3 — 68/70^\circ$ и сбросовое поле антикарпатского растяжения $\sigma_1 — 99/65^\circ$, $\sigma_3 — 340/14^\circ$. Аналогичные поля напряжений были установлены и при изучении всего Скибового покрова [Вихоть та ін., 2011; Гинтов и др., 2011]. По парагенезисам субвертикальных трещин определено сдвиговое поле субмеридионального сжатия — субширотного растяжения $\sigma_1 — 175/02^\circ$, $\sigma_3 — 265/04^\circ$, которое также характерно для всего Скибового покрова.

В стебницких песчаниках возле с. Пнив (уже в Б-ПП (рис. 4, IX)) доскладчатые ($\sigma_1 — 185/02^\circ$, $\sigma_3 — 275/10^\circ$; планетарная трещиноватость) и послескладчатые ($\sigma_1 — 192/05^\circ$, $\sigma_3 — 282/12^\circ$; субмеридиональное сжатие) сдвиговые поля мало отличаются от аналогичных полей напряжений Береговой скибы, а вот соскладчатые деформации (рис. 4, IX, б) имеют несколько иной характер. Здесь помимо обычного общекарпатского взбросового поля $\sigma_1 — 248/15^\circ$, $\sigma_3 — 82/75^\circ$ фиксируются два сбросовых поля, ориентированных осями растяжения перпендикулярно друг другу: $\sigma_1 — 260/75^\circ$, $\sigma_3 — 38/10^\circ$ и $\sigma_1 — 310/86^\circ$, $\sigma_3 — 130/04^\circ$. Это, как и в случае Болеховского карьера, указывает на общее прогибание района еще до окончания фазы складкообразования.

Аналогичная картина наблюдается и в добрововских отложениях Б-ПП (рис. 4, X) на юго-западной окраине г. Надворная (использованы материалы работы [Бубняк та ін., 2001]). Если по парагенезисам нормальносекущих (рис. 4, X, а) и субвертикальных (рис. 4, X, в) трещин устанавливаются соответственно сдвиговые поля начала общекарпатского ($\sigma_1 — 229/03^\circ$, $\sigma_3 — 319/05^\circ$) и антикарпатского ($\sigma_1 — 301/04^\circ$, $\sigma_3 — 211/10^\circ$) сжатия, то по замерам косесекущей трещиноватости (рис. 4, X, б) помимо сдвига-надвигового поля общекарпатского сжатия ($\sigma_1 — 22/16^\circ$, $\sigma_3 — 273/36^\circ$) фиксируются еще три сбросовых поля с различной ориентацией осей растяжения: $\sigma_1 — 305/42^\circ$, $\sigma_3 — 198/11^\circ$; $\sigma_1 — 22/59^\circ$, $\sigma_3 — 126/07^\circ$; $\sigma_1 — 159/77^\circ$, $\sigma_3 — 72/12^\circ$. Это также указывает на деформационный режим растяжения и погружения Б-ПП в процессе складко- и надвигообразования.

Делятинский участок (рис. 4, XI—XIV) охватывает правый и левый берега р. Прут в г. Делятин, с. Заречье и ниже по течению до устья р. Ославы. Западный край участка находится

в 300 м ниже по течению от контакта с Береговой скибой Скибового покрова, а восточный — в слободских конгломератах, т. е. весь участок расположен в пределах Б-ПП.

В крайней западной части развиты поставленные "на голову" отложения менилитовой свиты, надвинутые на воротыщенские глинистые сланцы. Здесь хорошо прослеживаются линии надвигов, сформировавшихся на последних стадиях развития складчатости (рис. 5—7).

В песчаниках и аргиллитах менилитовой свиты изучалась нормальносекущая и кососекущая трещиноватость, а также зеркала скольжения. Поля напряжений по парагенезисам нормальносекущих трещин $\sigma_1 — 277/03^\circ$, $\sigma_3 — 07/10^\circ$ и $\sigma_1 — 02/02^\circ$, $\sigma_3 — 272/10^\circ$ отражают реверсный режим формирования планетарной трещиноватости (рис. 4, XI, а). По парагенезисам кососекущих трещин восстанавливается взбросовое поле общецарпатского сжатия $\sigma_1 — 22/15^\circ$, $\sigma_3 — 254/64^\circ$ (рис. 4, XI, б). Это же поле подтверждается и штрихами на зеркалах скольжения: $\sigma_1 — 09/05^\circ$, $\sigma_3 — 255/78^\circ$ (рис. 4, XI, в).

Ниже по течению в с. Заречье (у церкви) обнаружены аналогичные породы, падающие на

запад и северо-запад под углами 30—50°. По парагенезисам нормальносекущих трещин (рис. 4, XII, а) здесь фиксируется поле напряжений $\sigma_1 — 263/04^\circ$, $\sigma_3 — 353/06^\circ$, в котором формировалась планетарная трещиноватость, а также сдвиговые поля $\sigma_1 — 22/04^\circ$, $\sigma_3 — 292/05^\circ$ и $\sigma_1 — 207/03^\circ$, $\sigma_3 — 297/04^\circ$, отражающие соответственно общецарпатское растяжение (завершение осадконакопления менилитовой свиты) и общецарпатское сжатие предшествовавшее складкообразованию. Анализ молодой субвертикальной трещиноватости (рис. 4, XII, в) указывает на следующие сдвиговые поля напряжений: два поля общецарпатского сжатия $\sigma_1 — 240/10^\circ$, $\sigma_3 — 330/09^\circ$ и $\sigma_1 — 200/04^\circ$, $\sigma_3 — 120/11^\circ$, а также поле общецарпатского растяжения $\sigma_1 — 303/06^\circ$, $\sigma_3 — 213/10^\circ$. Эти поля свидетельствуют о том, что сжатие и растяжение, ортогональные простиранию Украинских Карпат, продолжались в сдвиговом деформационном режиме и после основного этапа альпийского тектогенеза. Парагенезисы кососекущих трещин (рис. 4, XII, б), возникшие во время складко- и надвигообразования, отражают следующие палеополя напряжений: $\sigma_1 — 210/04^\circ$, $\sigma_3 — 130/69^\circ$ и $\sigma_1 — 260/01^\circ$, σ_3



Рис. 5. Отложения менилитовой свиты Б-ПП вблизи контакта с Береговой скибой. Видны полосы надвигов под углами 30—45°. Правый берег р. Прут в г. Делятин.



Рис. 6. Складка в породах менилитовой свиты, разорванная надвигами. Правый берег р. Прут в г. Деятин.



Рис. 7. Субгоризонтальный надвиг отложений менилитовой свиты на воротыщенские отложения (у самой воды). Правый берег р. Прут в г. Деятин.

— $7/67^\circ$ — взбросовые поля общецарпатского сжатия; $\sigma_1 — 317/70^\circ$, $\sigma_3 — 220/00^\circ$ и $\sigma_1 — 150/68^\circ$, $\sigma_3 — 293/10^\circ$ — сбросовые поля соответственно общецарпатского и антицарпатского растяжения. Аналогичные взбросовые и сбросовые поля напряжений определены и по зеркалам скольжения (рис. 4, XII, г): $\sigma_1 — 36/17^\circ$, $\sigma_3 — 283/52^\circ$ и $\sigma_1 — 196/68^\circ$, $\sigma_3 — 67/14^\circ$.

Как видим, с удалением от контакта в сторону Б-ПП все более сильно проявляются напряжения растяжения, при чем, если напряжения сжатия и взбросовый деформационный режим, как правило, ориентированы субортгонално к простиранию Карпат, то сбросовые напряжения имеют разную направленность осей σ_3 , что указывает на общее прогибание территории.

Подобное напряженно-деформированное состояние наблюдается и в добротовских отложениях, развитых по обоим берегам р. Прут ниже с. Заречье (рис. 4, XIII, рис. 8). По нормальносекущей трещиноватости (рис. 4, XIII, а) установлены четыре поля напряжений, которые объединяются в два осредненных поля: $\sigma_1 — 266/05^\circ$, $\sigma_3 — 356/07^\circ$ и $\sigma_1 — 215/05^\circ$, $\sigma_3 — 305/10^\circ$.

Первое соответствует этапу формирования планетарной трещиноватости, а второе — началу общецарпатского сжатия, предшествующему складкообразованию. Результаты интерпретации парагенезисов кососекущих трещин и зеркал скольжения (рис. 4, XIII, б, г) дают пять взбросовых и пять сбросовых полей, которые объединяются в следующие осредненные поля напряжений: три взбросовых поля общецарпатского и субмеридионального сжатия $\sigma_1 — 223/17^\circ$, $\sigma_3 — 85/65^\circ$; $\sigma_1 — 10/10^\circ$, $\sigma_3 — 138/57^\circ$; $\sigma_1 — 193/02^\circ$, $\sigma_3 — 290/68^\circ$ и сбросовое поле $\sigma_1 — 334/79^\circ$, $\sigma_3 — 158/14^\circ$ антицарпатского растяжения. При этом необходимо отметить, что сбросовые поля, участвовавшие в осреднении, характеризуются разбросом осей растяжения в секторе около 90° .

В слободских конгломератах (несколько ниже по течению добротовских отложений) парагенезисы нормальносекущих трещин (рис. 4, XIV, а) отражают этап формирования планетарной трещиноватости: $\sigma_1 — 187/03^\circ$, $\sigma_3 — 277/07^\circ$; $\sigma_1 — 92/02^\circ$, $\sigma_3 — 182/05^\circ$ (реверсно-сдвиговый деформационный режим). По молодой субвертикальной трещиноватости (рис. 4,



Рис. 8. Отложения добротовской свиты. Левый берег р. Прут ниже с. Заречье. Хорошо видны нормальносекущие и субвертикальные трещины, а также надвиги (кососекущие разрывы).

XIV, в) зафиксировано сдвиговое поле субширотного растяжения — субмеридионального сжатия σ_1 — 169/02°, σ_3 — 259/08°. По парагенезисам кососекущих трещин (рис. 4, XIV, б), образование которых сопровождало основной складчато-надвиговый процесс, установлены два взбросовых поля общекарпатского сжатия σ_1 — 240/03°, σ_3 — 332/55°; σ_1 — 39/22°, σ_3 — 159/50°; два поля карпатского и антикарпатского растяжения σ_1 — 307/62°, σ_3 — 47/05°; σ_1 — 270/67°, σ_3 — 152/18°; взбросо-сдвиговое поле субширотного сжатия σ_1 — 282/05°, σ_3 — 188/32°. Как видно, и в пределах антиклинальной структуры отмечается общее растяжение аллохтонного комплекса.

Таким образом, результаты выполненных тектонофизических исследований в целом подтверждают выводы, сделанные ранее [Гинтов и др., 2011].

- Поля напряжений в земной коре Карпатского региона до начала процессов орогенеза были обусловлены действием тангенциальных сил как планетарного, так и тектонического характера.
- В таких полях напряжений в отлагавшихся горных породах после их частичной литификации формировалась вначале планетарная трещиноватость и тектоническая трещиноватость растяжения, связанная с прогибанием осадочного бассейна, а затем возникали тектонические трещины, обусловленные началом северо-восточно—юго-западного сжатия, ортогонального современному простираению Украинских Карпат. В этот доскладчатый период тектонические поля напряжений отражали сдвиговый деформационный режим (плоскость σ_1 , σ_3 горизонтальна).
- В процессе складко- и надвигообразования и перемещения Складчатых Карпат на северо-восток, обусловленного сложным коллизионным взаимодействием окружавших Карпатский регион плит, поля тектонических напряжений в Скибовом покрове и аллохтонной части Предкарпатского прогиба отражали взбросовый (ось σ_1 субгоризонтальна, ось σ_3 субвертикальна) и шарьяжный (оси σ_1 и σ_3 наклонены под углами ~ 45°) деформационные режимы в условиях преобладающего северо-восточного сжатия.
- Формирование субширотных ветвей Западных и Южных Карпат оказало влияние и на Украинские Карпаты, в результате чего и в Скибовом покрове, и в аллохтонной части Предкарпатского прогиба фиксируют-

ся взбросовые поля напряжений с антикарпатской и субмеридиональной ориентацией осей σ_1 и σ_3 .

- На новейшем и современном этапе тектонические поля напряжений вновь, как и в доорогенный период, отражают сдвиговый деформационный режим при субгоризонтальной плоскости σ_1 , σ_3 .

Такой сценарий эволюции полей напряжений согласуется с региональными геодинамическими моделями для Альпийско-Карпатского региона [Cloetingh et al., 2006]. Особенно это касается внешних частей Карпатского орогена, где на небольшой территории сосуществуют режимы сжатия во внешних частях орогена и растяжения в форланде Карпат. Такое сочетание режимов, на наш взгляд, обусловлено развитием отступающей континентальной зоны субдукции в неогеновый период. На преобладание растяжений указывают также результаты изучения тектонического опускания во внешней зоне Предкарпатского прогиба [Доленко и др., 1976].

Переходя к проблеме нефтегазоносности, необходимо обратить внимание на еще один вывод, сделанный в результате изучения НДС внутренней части Предкарпатского прогиба и сравнения его с НДС Скибового покрова. Как видно из приведенных выше материалов практически по всем пересечениям, для внутренней части прогиба характерно приблизительно равное количество определений взбросовых и сбросовых деформационных режимов. Из этого следует, что, несмотря на определенное сходство складчато-надвиговой структуры Скибового и Бориславско-Покутского (и, частично, Самборского) покровов, аллохтонная часть Предкарпатского прогиба после сильного сжатия испытала достаточно сильное растяжение, в виду чего системы трещин, по которым установлено такое растяжение, являются открытыми. О Скибовом покрове этого сказать нельзя, так как подавляющее количество структурных парагенезисов формировалось в нем в условиях сжатия [Гинтов и др., 2011]. Даже сбросовый деформационный режим, сопровождающий развал горной системы, устанавливается в Скибовом покрове чаще всего по зеркалам скольжения, которые обычно не формируются при растяжении.

Следовательно, сравнивая трещинную структуру Скибового покрова и аллохтонной части Предкарпатского прогиба, приходим к выводу, что первая представляет собой закрытую систему, сформированную в условиях сжатия, а

вторая стала открытой в результате последовавшего за сжатием растяжения.

Исследователями уже давно обращено внимание на расположение месторождений углеводородов Карпатского региона в виде двух линейных зон, разделенных областью, в которой месторождения отсутствуют (см. рис. 1). Зона развития преимущественно нефтяных месторождений охватывает передовую часть Скибового покрова и частично Б-ПП. Зона развития газовых месторождений располагается на границе Самборского покрова и Бильче-Волицкой зоны и в пределах последней.

Зональность в распределении нефтяных и газовых месторождений авторами работы [Паталаха и др., 2003] объясняется со следующих позиций.

В процессе надвигания Карпатского орогена на кратон (Западно- и Восточно-Европейскую платформы) или пододвигания второго под первый происходит затягивание чехла платформы под ороген ("поглощение") с образованием структуры поднадвига, фронтальная часть которой погружается на глубину 10 км и более и сильно утоняется. При достаточно большой скорости пододвигания (около 1 см / год) часть чехла не вмещается в объем поднадвига и скучивается у форланда орогена, образуя внутреннюю, аллохтонную, часть краевого прогиба, лежащую на менее деформированной автохтонной части чехла, втягивающейся в поднадвиг. Внешняя часть прогиба (Бильче-Волицкая зона) сложена слабдеформированными мезокайнозойскими породами чехла, не втянутыми в поднадвиг.

Погруженная передняя часть поднадвиговой структуры испытывает большие термомеханические нагрузки, дегидратацию, метаморфизм, в результате чего содержащиеся в ней углеводородоносные флюиды концентрируются и выжимаются наружу (так называемый процесс "фильтрпрессинга"), скапливаясь в краевом прогибе. Из-за разницы в реологических свойствах газа и нефти первые не могут скапливаться во внутренней части прогиба, представленной сильно раздробленными надвигами и полуантиклиналями, и частично улетучиваются, частично проникают дальше — во внешнюю зону с нормальными антиклиналями-ловушками. Нефть же собирается главным образом на границе орогена и Бориславско-Покутского покрова, проникая также в Скибовый покров из зоны поднадвига по разломам.

С разрывной тектоникой и геодинамическими условиями распределение месторождений

нефти и газа в Карпатском регионе связывает также Р. И. Кутас [Кутас, 2005]. Месторождения нефти концентрируются в Предкарпатской и Сколевской продольных зонах разломов, а газовые локализуются в Краковецкой, Калушской и Косовской. Здесь продолжаются активные геодинамические события, проявляющиеся в сейсмической активности, новейших и современных движениях земной коры. Размещение нефтегазовых месторождений в зонах глубоких разломов и узлах их пересечения, повышение в зонах нефтегазоаккумуляции температуры и теплового потока, закономерное изменение с глубиной и по площади состава и свойств углеводородов, гидрогеологические условия свидетельствуют о существовании зон и источников интенсивной миграции глубоких флюидов в осадочных отложениях [Кутас, 2005; Старостенко и др., 2011].

Как видим, обе приведенные концепции подтверждаются и углубляются полученными тектонофизическими данными о закрытой и открытой системах тектонической трещиноватости соответственно Скибового покрова и внутренней части Предкарпатского прогиба. Существование зоны отсутствия месторождений углеводородов, в первую очередь газовых, обусловлено, скорее всего, ее растяжением и связанным с этим формированием густой системы открытых трещин.

Переходя на локальный уровень, результаты тектонофизических исследований могут использоваться следующим образом.

1. Исследование зон повышенной трещиноватости для характеристики коллекторских свойств. Выявленные тектонические (деформационные) режимы помогают прогнозировать наличие трещин. Наиболее благоприятным в этом случае является сдвиговое поле.

2. Изучение покрывшек. Здесь ситуация противоположная. Необходимо выявить участки, слабонарушенные открытыми трещинами, которые связываются с режимом растяжения. Особенно актуальными становятся эти исследования при многоэтажном строении месторождений.

Результаты тектонофизических наблюдений — необходимый элемент при построении сбалансированных разрезов. Выявленные деформационные режимы помогают выбрать тот или иной алгоритм при моделировании складчатонадвиговых структур.

Результаты исследований могут быть также использованы при изучении флюидодинамики Предкарпатского прогиба.

Список литературы

- Аронский А. А., Беличенко П. В., Гинтов О. Б., Муровская А. В. Кинематические параметры деформирования верхних горизонтов земной коры Украинских Карпат в миоцен-плейстоценовую эпоху (по тектонофизическим данным). 1—3 // Геофиз. журн. — 1995. — **17**, № 3. — С. 58—68; № 5. — С. 11—19; № 6. — С. 43—57.
- Бубняк А. Геодинаміка розломів Передкарпаття: Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — Київ, 2006. — 22 с.
- Бубняк І., Бубняк А., Кілін І., Попп І. Структурно-седиментологічні дослідження добротівських відкладів Передкарпатського прогину (район Надвірної) // Праці наук. товариства ім. Шевченка. Геологічний збірник. — 2001. — **V**. — С. 84—93.
- Віхоть Ю. М., Бубняк І. М., Накапелюх М. В. Результати тектонофізичних досліджень флішової товщі Скибового покриву Українських Карпат у долині р. Бистриця Надвірнянська // Геол. журн. — 2011. — № 2. — С. 72—80.
- Віхоть Ю. М., Бубняк І. М. Поля напружень у флішовій товщі скиб Орівської, Сколівської та Парашки (за дослідженнями у басейні ріки Сукіль) // Геодинаміка. — 2011. — № 1 (10). — С. 75—82.
- Геологічна карта Українських Карпат, масштаб 1 : 100 000. Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Чернівецька області України / Сост. В. В. Глушко, В. В. Кузовенко, В. Е. Шлапінский: Отчет ЗАО "Концерн Надра". — Киев, 2007. — 228 с.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. — Киев: Феникс, 2005. — 572 с.
- Гинтов О. Б., Бубняк И. Н., Віхоть Ю. М., Муровская А. В., Накапелюх М. В. Эволюция напряженно-деформированного состояния и динамика Скибового покрова Украинских Карпат // Геофиз. журн. — 2011. — **33**, № 5. — С. 17—34.
- Доленко Г. Н., Бойчевская Л. Т., Кильн И. В., Улизло Б. М., Пастернак С. Н. Разломная тектоника Предкарпатского и Закарпатского прогибов и ее влияние на распределение залежей нефти и газа. — Киев: Наук. думка, 1976. — 126 с.
- Кутас Р. І. Геодинамічні процеси і тепловий стан літосфери Карпатського регіону // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. — Київ: Наук. думка, 2005. — С. 133—139.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В., Сенченков И. К., Червинко О. П. Элементы геодинамики Карпат. Прогноз УВ и сейсмоопасности. — Киев: ЭКМО, 2003. — 151 с.
- Старостенко В. И., Гинтов О. Б., Кутас Р. И. Формирование и размещение месторождений полезных ископаемых Украины как результат геодинамического развития литосферы // Геофиз. журн. — 2011. — **33**, № 3. — С. 3—22.
- Cloetingh S., Bada G., Matenco L., Lankreijer A., Horvath F., Dinu C. Modes of basin (de) formation, lithospheric strength and vertical motions in the Pannonian-Carpathian system: inferences from thermo-mechanical modeling // Geol. Soc., London, Memoirs, 32. — 2006. — P. 207—221.