

Виктор ГОНЧАР

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев,
e-mail: gonchar@igph.kiev.ua

МЕХАНИЗМ ПОКРОВООБРАЗОВАНИЯ ПРИ АККРЕЦИИ ОТЛОЖЕНИЙ ПРЕДКАРПАТСКОГО ПРОГИБА

Особенности орогенического развития Карпат и Предкарпатского прогиба могут быть поняты в контексте двух типовых аккреционных обстановок: латеральной аккреции и покровообразования. Рассматриваются принципы анализа поднадвига предельного аккреционного клина, в котором контроль механизмов аккреции связывается с состоянием границы чехол/фундамент. Представлена палинспастическая модель развития фронта Карпат, в которой в качестве причины частных покровов Бориславско-Покутской зоны рассматривается фактор погребенного рельефа.

Ключевые слова: аккреция, покровообразование, поднадвиг аккреционного клина, Предкарпатский прогиб.

Введение. В деформационно-структурном анализе активных окраин большое значение придается проблематике формирования покровно-надвиговых структур при аккреции чехла. Термин “аккреция” в начальном, основном своем применении соответствует процессу сгужения осадков перед фронтом краевого орогена при субдукции несущей плиты (латеральная аккреция (Davis et al., 1983)); в более широком смысле он подразумевает также подслаивание снизу частично субдуцируемых отложений, участвующих таким образом в покровообразовании (вертикальная аккреция (Вертикальная..., 2002)). Представленный в статье краткий обзор результатов лабораторных экспериментов (Cyclical..., 1996; Koyi et al., 2000; Dominguez et al., 2000) показывает, что проявление латеральной и вертикальной аккреции (покровообразования), как и сопутствующих им структурных преобразований, контролируется состоянием подошвы чехла – его прочностными характеристиками. Используемая для описания аккреционного орогенеза теория предельного клина (Davis et al., 1983; Dahlen, 1984; Lallemand et al., 1994) не в состоянии осветить переход от латеральной аккреции к покровообразованию и обратно. Поэтому в статье используется более общий подход с точки зрения механики поднадвига аккреционного клина (Гончар, 2007), в котором проявление латерально-аккреционного или покровного стилей деформирования ставится в зависимость не только от коэффициента трения, но и от рельефа фундамента.

Использование методов деформационно-структурного анализа в изучении нефтегазоносных структур Флишевых Карпат и Предкарпатского краевого прогиба находится в начальной стадии, и их потенциал представляется весьма существенным (Элементы..., 2003; Гинтов, 2009). Ключевое положение

здесь занимает феномен Бориславско-Покутской зоны, которая, отличаясь покровным строением (рис. 1, Г), включает в себе преобладающую часть залежей нефти (Геологическое..., 1971). Обобщение экспериментальных данных дает основание полагать, что многое в ее развитии, как и в развитии Карпат в целом, может быть понято в контексте проявления латерально-аккреционного и покровного стилей аккреционного процесса.

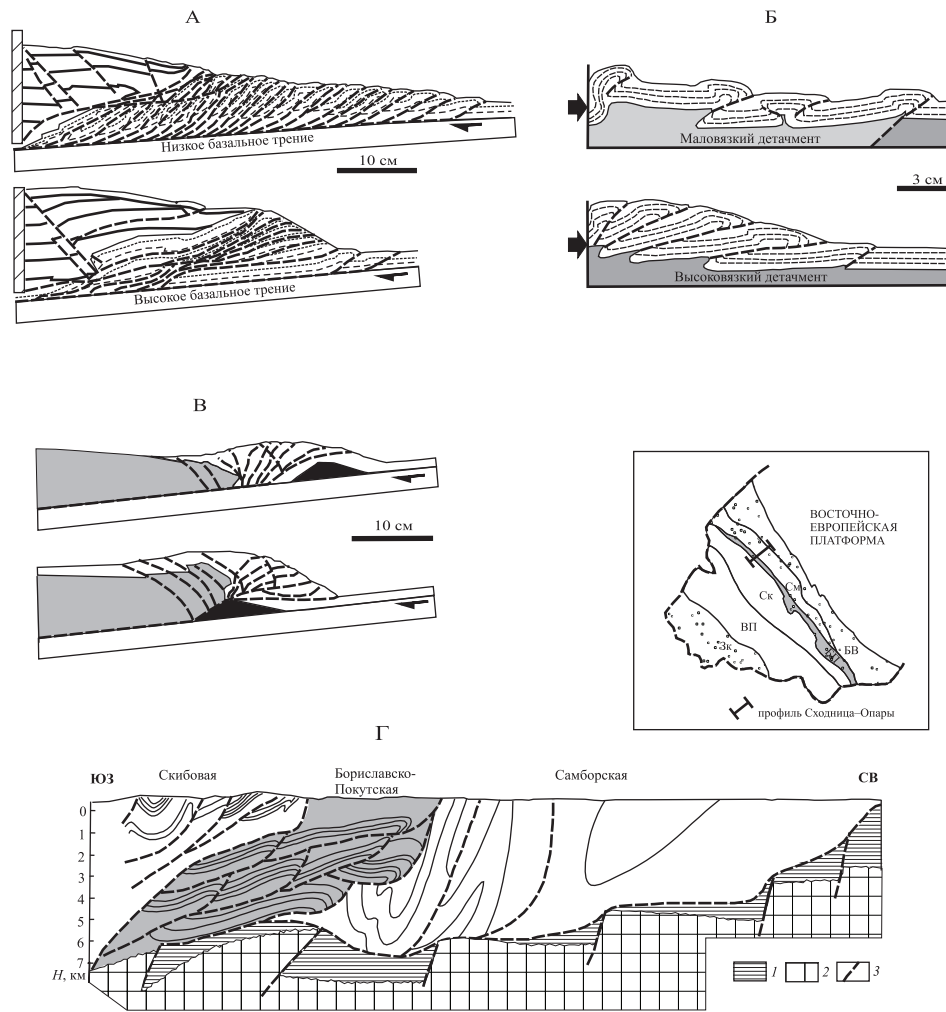


Рис. 1. Сопоставление строения экспериментальных аккреционных орогенов со структурами фронтальной части Карпат и Предкарпатского прогиба:

А–В – типы аккреционных орогенов в экспериментах на песчаном материале: А – проявление латеральной аккреции (вверху) и покровообразования в зависимости от величины коэффициента трения в подошве чехла (Cusical..., 1996); Б – чешуйчатый и складчатый стили деформирования в зависимости от степени вязкости детачмента (Koyi et al., 2000); В – стадии прохождения подводной горой (показана черным) в зоне субдукции (Dominguez et al., 2000). Г – глубинный структурный разрез по профилю Сходница–Опары (Геологическое..., 1971). Тонирована Бориславско-Покутская зона. 1 – платформенный чехол (отложения миоцена и мезозоя); 2 – фундамент Восточно-Европейской платформы; 3 – разломы. На врезке: схема тектонического подразделения Украинских Карпат и расположение профиля. ВП – зона “Внутренних покровов”, Ск – Скибовая, БП – Бориславско-Покутская, См – Самборская, БВ – Бильче-Волицкая зоны. Крапом отмечены Закарпатский (Зк) и Предкарпатский прогибы.

Два типа аккреционного деформирования по данным лабораторного моделирования в сравнении со структурой Карпат. Эксперименты по воспроизведению аккреционных орогенов, выполненные на основе песчаного материала, выявляют две типичные их разновидности (Cyclical..., 1996; Kouy et al., 2000): 1) пологие и удлиненные аккреционные призмы с крутой чешуйчатой структурой, обусловленные низким коэффициентом трения в основании чехла; 2) короткие и более высокие, соответственно, с более крутым склоном, аккреционные призмы, сложенные чешуями-покровами, проявление которых связано с повышенным коэффициентом трения (см. рис. 1, А). Если в модели присутствует достаточно мощный маловязкий слой в основании чехла, то воспроизводится структура складчатого пояса, где верхние более жесткие слои образуют квазисимметричные антиклинальные и синклинальные складки (см. рис. 1, Б). Очевидно, что последний случай есть вариация аккреционной призмы с низким базальным трением. Первый тип характеризует процесс латеральной аккреции (Davis et al., 1983), тогда как второму соответствует аккреция вертикальная. Последний термин более распространен в русскоязычной литературе, где он толкуется достаточно широко (Вертикальная..., 2002). Имея в виду форму экспериментальных орогенов и их интерпретацию в рамках теории предельного аккреционного клина (Davis et al., 1983; Dahlen, 1984) (см. ниже), состояние орогена первого вида можно именовать узким предельным клином, второго – широким. В зависимости от степени проявления механизмов латеральной и вертикальной аккреции выделяются собственно аккреционные, неаккреционные и промежуточные типы современных надсубдукционных орогенов (Lallemand et al., 1994). Физический смысл образования покровов в процессе аккреции рассматривался в работе (Гончар, 2007) на основе критерия сдвиговой прочности Кулона–Мора: высокое трение в подошве чехла задерживает его срыв с основания и способствует затягиванию чехла под аккреционную призму, одновременно происходит усиление сдвигающих напряжений, которые в конце концов приводят к преодолению трения и срыву затянутой пластины, ее приращению к телу орогена (вертикальная аккреция) и дальнейшему покровному продвижению орогена.

Изученный экспериментально подвиг подводной горы океанической плиты (Dominguez et al., 2000) раскрывает возможные варианты механизма формирования покровной структуры. Образование покровов тут происходит в два этапа (см. рис. 1, В). На входе подводной горы в зону субдукции перед ней формируются достаточно крутые чешуи сжатия. Эти же чешуи выламываются, образуя покровный веер в тылу поднятия после прохождения им фронтальной части аккреционной призмы. Данный эксперимент подчеркивает роль рельефа субдуцирующей плиты. Как будет показано ниже, контролирующее значение может иметь рельеф фундамента, влияющий на прочность границы чехол/фундамент.

Рассматривая строение тектонических зон Карпат и Предкарпатского прогиба на разрезе (см. рис. 1, Г; а также (Геологическое..., 1971)), нетрудно заметить элементы принципиального сходства их со структурами экспериментальных аккреционных призм. Строение Скибовой зоны можно сопоставить с крутой чешуйчатостью узкого аккреционного клина, Самборской

зоны – со складчатостью в модели с мощным маловязким слоем в основании чехла. Обе, таким образом, следует соотносить с условиями латеральной аккреции. Бориславско-Покутской зоне в соответствие можно поставить покровные структуры, сформированные благодаря высокому коэффициенту трения в подошве чехла.

Недостатком моделей на основе песчаного материала является несоблюдение принципов физического подобия, в результате чего получаемые параметры “орогенов” в моделях, а именно углы наклона их кровли, могут существенно превышать таковые у природных аналогов, в первую очередь – покровного типа. Как указано в работе (Шеменда, 1989), выполнение отношения предела прочности к давлению для экспериментального материала означает придание ему весьма маловязкой консистенции, такой, что “материал нельзя брать в руки – вещество растекается под действием собственного веса”. Отсутствие таких свойств у песчаного материала не позволяет воспроизводить действие собственного веса покровного орогена. Поэтому, в песчаных моделях чешуи покровов не достигают горизонтального положения, оставаясь моновергентными. Горизонтальные чешуи весьма характерны для Бориславско-Покутской зоны, и их присутствие указывает на вероятное действие гравитационного фактора. Модельная схема развития Карпат с учетом эффекта гравитирующей вязкой жидкости применялась нами ранее (Паталаха и др., 2005). Соблюдение в работе (Бокун, 2000) условий подобия при моделировании покровно-складчатых структур Украинских Карпат позволило получить аккреционные призмы с адекватными природным углами наклона кровли в $5-8^\circ$.

Роль рельефа границы чехол/фундамент в предопределении покровного стиля аккреционного деформирования. Механика орогенеза за счет аккреции чехла описывается теорией клина, в которой на основе кулоновой прочности вводится понятие предельного клина (Davis et al., 1983; Dahlen, 1984). В диапазоне величин углов наклона кровли и подошвы природных орогенов и при равных параметрах прочности условию горизонтального сжатия в рамках теории клина отвечает форма узкого клина, растяжения – широкого клина (Гончар, 2007). Именно с последним типом коррелируют параметры современных так называемых неаккреционных и промежуточных орогенов (Lallemand et al., 1994) (рис. 2, А). Чтобы описать развитие аккреционных (в широком смысле) орогенов, их структурное многообразие, необходимо выйти за рамки теории клина, так как постулируемая ею реализация внешнего трения в подошве клина автоматически выводит из рассмотрения условия на границе чехол/фундамент в допредельном состоянии, когда скольжение не происходит (Гончар, 2007), но именно такое состояние границы способствует частичной или полной субдукции чехла, обеспечивая и образование покровов.

Наиболее общий критерий сдвиговой активности границы чехол/фундамент связан с наличием положительного градиента прочности, направленного внутрь контактирующих тел (Крагельский, 1968), и в отношении чехла может выражаться соотношением коэффициентов внешнего (k_m) и внутреннего (q_m) трения: скольжение допускается при $k_m < q_m$. Коэффициенты q_m и k_m являются параметрами материала и границы (разлома) и опосредованно

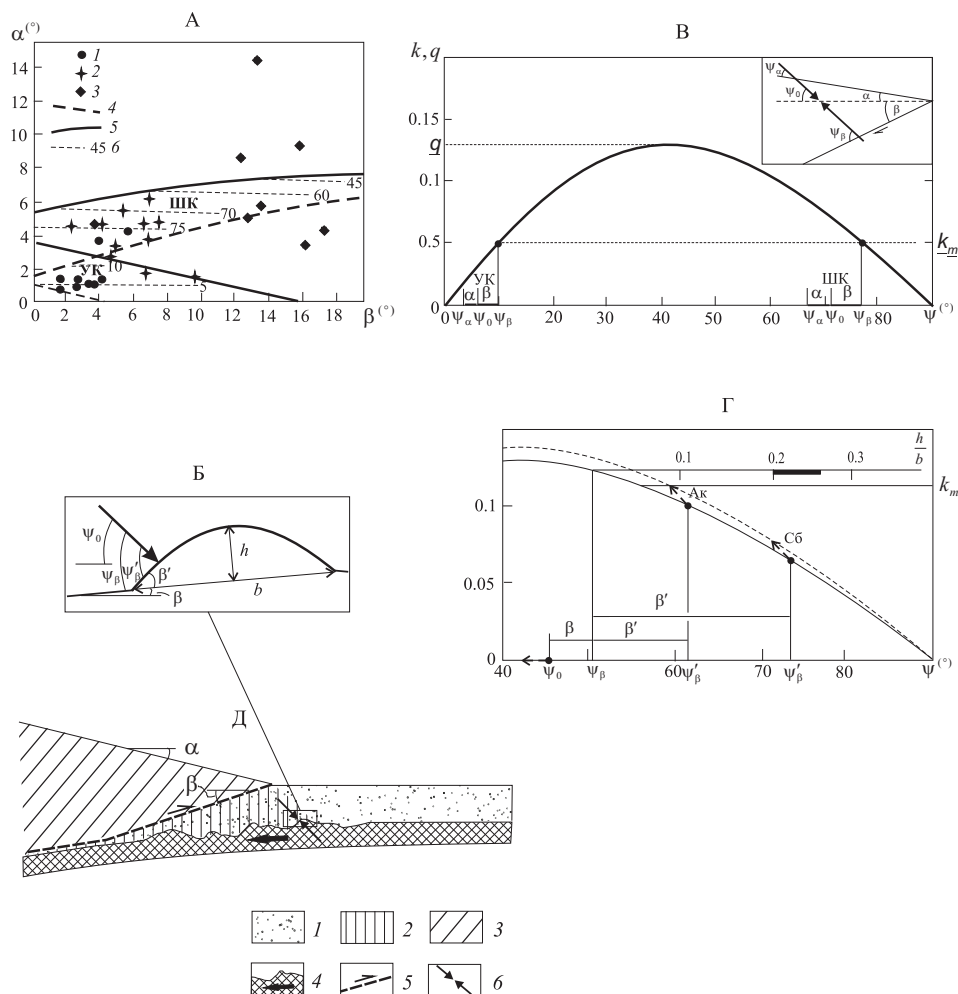


Рис. 2. Иллюстрации к концепции поднадвига–клина (Гончар, 2007):

А – диаграмма предельного клина, связывающая углы наклона кровли (α) и подошвы (β) клина с наклоном оси сжатия ψ_0 , в сопоставлении с данными по современным надсубдукционным орогенам. УК, ШК – поля узкого и широкого клина, соответственно. 1–3 – точки, отвечающие современным орогенам: аккреционного (1), промежуточного (2) и неаккреционного (3) типов (Lallemand et al., 1994); 4, 5 – траектории предельного клина при $q = 0,13$, $k_m = 0,025$ и $k_m = 0,08$, соответственно; 6 – изолинии угла наклона оси сжатия тензора напряжений ψ_0 . Б – схема к учету погребенного рельефа фундамента (см. уравнение (1)). В, Г – прочностные диаграммы, поясняющие: В – расхождения в напряженном состоянии узкого и широкого предельного клина (в верхнем правом углу – схема критического клина (Davis et al., 1983)), Г – осуществление реологического “выбора” в поднадвиге на основе шкалы относительного рельефа ($\frac{h}{b}$) и коэффициентов сдвиговой прочности на границе чехол/фундамент. Ак, Сб – аккреционная и субдукционная (для чехла) позиции точек состояния границы чехол/фундамент (стрелками показаны смещения точек состояния в процессе поддвига несущей плиты, пунктирной линией – смещение кривой напряженного состояния); черная полоска на шкале рельефа – интервал рельефа зоны Романш в Атлантическом океане (по данным (Пейве, 2002)). См. также пояснения в тексте. Д – схема морфотектоники орогена в связи с прохождением участка плиты с погребенным рельефом: 1 – недеформированный осадочный чехол; 2 – поднадвиг клина; 3 – аккреционный клин; 4 – субдуцирующая плита (фундамент); 5 – разлом в подошве клина; 6 – направления осей максимального сжимающего напряжения.

характеризуют состав и состояние слагающих толщ. Дальнейший анализ с точки зрения сдвиговой прочности подошвы чехла учитывает их соотношение с относительным касательным напряжением $k = \frac{\tau}{\sigma_n}$ (τ – касательное, σ_n – нормальное напряжение) в подошве. Критическим является соотношение k и k_m . В работе (Гончар, 2007) установлена связь коэффициента k с рельефом фундамента:

$$k = \frac{q \sin 2(\psi_\beta)}{\sqrt{1+q^2} - q \cos 2(\psi_\beta)}, \quad (1)$$

где $\psi_\beta = \psi_0 + \beta + \beta'$ (ψ_0 , β , $\beta' = \arctg \frac{2h}{b}$ – углы наклона оси сжатия, плиты, рельефа, соответственно, q – экстремальное значение k (см. рис. 2, Б)). Графическим решением (1) является кривая k в функции ψ , которая совместно с величиной k_m отображает реологические свойства: а) границы чехол/клин в условиях скольжения при $k = k_m$ (см. рис. 2, В), и б) границы чехол/фундамент в поднадвиге при $k < k_m$, когда скольжение не происходит (см. рис. 2, Г). Для расчетов приняты низкие параметры прочности: $q = 0,13$; $k_m = 0,025-0,08$; на основе которых в рамках теории предельного клина аппроксимируется разброс углов наклона кровли и подошвы природных орогенов (см. рис. 2, А), что может свидетельствовать в пользу проявления так называемой длительной прочности (Вялов, 1974). Диаграмма на рис. 2, В демонстрирует кардинальное расхождение в напряженном состоянии узкого и широкого клина – пологое сжатие в первом случае и растяжение во втором.

Исходную точку деформационной эволюции – положение, в котором происходит выбор: быть или не быть аккреции (субдукции) чехла, – можно с большой долей вероятности соотнести с положением площадки основания во фронтальной поднадвиговой части чехла (см. рис. 2, Д). Еще к началу пластической деформации в ней формируется напряженное состояние, характеризующееся углом между осью сжатия и подошвой $\psi_\beta = 40-50^\circ$ (Гончар, 2007). Поэтому для описания реологического перехода необходимо использовать правую часть прочностной диаграммы, на которую выносятся шкала относительного рельефа (см. рис. 2, Г). В случае, когда высота рельефа фундамента приближается к нулю, основную роль в определении условий механического контакта в подошве играют параметры прочности k_m и q_m . Режим латеральной аккреции в целом обеспечивается низким коэффициентом трения k_m в подошве, когда практически мгновенно достигается предел сдвиговой прочности в подошве чехла и последний оказывается в условиях субгоризонтального сжатия (узкий клин). Отношение $\frac{h}{b}$, характеризующее крутизну склонов, входит в (1) и тем самым влияет на величину k . Его рост означает снижение k и фактическое упрочнение границы чехол/фундамент. Поэтому, можно ожидать, что аккреция прервется и система перейдет в режим субдукции чехла, если к фронтальной части орогена подойдет участок плиты с достаточно крутым погребенным рельефом, например с $\frac{h}{b} = 0,2-0,26$; что соответствует рельефу некоторых океанических хребтов (хребет Романш в Атлантическом океане (Пейве, 2002)).

По мере поддвига осадочного чехла под ороген угол наклона оси сжатия вблизи подошвы ψ_0 уменьшается (Гончар, 2007), а уровень напряжений q повышается, что влечет за собой перемещение точки напряженного состояния границы вверх – в направлении достижения коэффициента сдвигой прочности (см. рис. 2, Г). В целом можно выделить два варианта соотношения коэффициентов k и k_m , определяющих ход орогенического процесса. Устойчивая субдукция чехла ожидается при условии, когда разница между k и k_m велика. Небольшое превышение k_m над k может обеспечить функционирование орогена в режиме покровообразования, когда субдукция чехла периодически прерывается вследствие колебаний напряженного состояния, рельефа, самого коэффициента трения, при которых k выходит на уровень сдвиговой прочности.

Орогены промежуточного типа характеризуются укороченным аккреционным клином (Lallemand et al., 1994), что является следствием нестационарности развития – попеременного пребывания в состоянии аккреции и субдукции чехла (Гончар, 2007). Как показывают эксперименты (см. рис. 1, А, Б), направленность реологического перехода при нестационарном развитии должна влиять на структуру орогена и отражаться в его деформационной истории. При переходе от покровного деформирования с частичной субдукцией чехла к латеральной аккреции следует ожидать существенного наращивания орогена по латерали за счет вновьобразованной аккреционной призмы в условиях горизонтального сжатия. Смена латеральной аккреции чехла его субдукцией будет сопровождаться появлением покровных структур, изменением напряженного состояния вплоть до смены сжатия растяжением и увеличением угла наклона кровли предельного клина. На взгляд автора, такая трансформация имела место в эволюции Украинских Карпат в начале формирования Бориславско-Покутской зоны. Обратный переход состоялся в период заложения Самборской зоны. Данная схема положена в основу модели, излагаемой ниже.

Палинспастическая модель развития фронтальных тектонических зон Карпат. На основе изложенных выше экспериментальных и теоретических данных с учетом имеющейся геологической информации (Геологическое..., 1971; Геодинамика Карпат, 1985; Тектоника Украины, 1988; Тектономагматическая..., 1995; Геологічна..., 2004) составлены палинспастические разрезы (рис. 3, А–Г), отображающие принципиальные черты орогенического развития Карпат на различных стадиях аккреции. При их построении использовано предположение об исходной ширине Бориславско-Покутского прогиба $L = 65$ км и средней мощности выполняющих его осадков $h = 5$ км. Следуя простой схеме разделения бассейна на три равные чешуи (см. рис. 3, А), получим наклон поверхностей скольжения в основании предельного (широкого) клина $\beta = \text{arctg}\left(\frac{3h}{L}\right) \approx 13^\circ$.

Принимается, что процесс протекал на фоне “большой” субдукции Восточно-Европейской платформы под Паннонский микроконтинент (Тектоническое..., 1978; Паталаха и др., 1995). Ситуация перед началом образования Бориславско-Покутской зоны характеризовалась латеральной аккрецией отложений флишевого бассейна перед фронтом так называемых “Внутренних

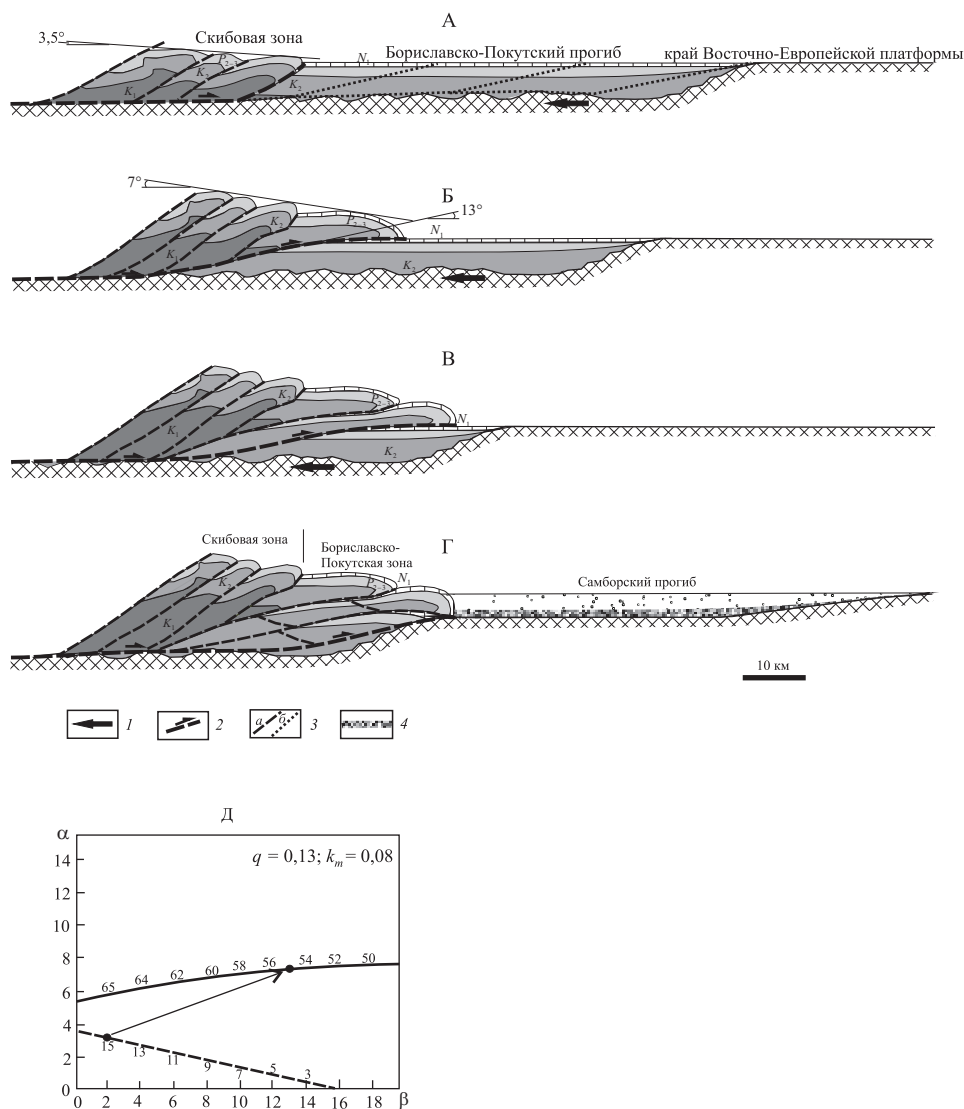


Рис. 3. Палинспастические разрезы (модель) фронтальной части Флишевых Карпат и Предкарпатского прогиба, воссоздающие процесс формирования структуры в условиях латеральной аккреции и покрообразования чехла (составлена с учетом данных лабораторного моделирования (см. рис. 1)):

А–Г – палинспастические разрезы: А – состояние перед началом деформирования остаточного флишевого бассейна – Бориславско-Покутской зоны (ранний миоцен). Б – образование первого покрова, когда в поднадвиг пошел участок фундамента с погребенным рельефом. В – развитие покровного деформирования. Г – замедление продвижения орогена и реактивный прогиб склона Восточно-Европейской платформы; размер Самборского краевого прогиба показан с учетом палинспастической реконструкции из работы (Элементы..., 2003). 1 – движение субдуцирующей плиты; 2 – поверхность скольжения предельного аккреционного клина; 3 – разломы, реализованные внутри клина (а) и прогнозируемые в чехле (б); 4 – эвапориты (воротыщенские слои) в основании отложений Самборского прогиба. Д – диаграмма предельного клина, отображающая переход аккреционного орогена Карпат от состояния латеральной аккреции к покрообразованию. Пунктиром показана кривая узкого клина, сплошной линией – широкого; цифрами отмечены рассчитанные наклоны оси сжатия.

покровов” Карпат (Геодинамика Карпат, 1985; Тектоника Украины, 1988), за счет чего формировалась Скибовая зона (см. рис. 3, А). Принимая константы $q = 0,13$ и $k_m = 0,08$ в рамках теории предельного клина получим, что угол наклона кровли предельного (узкого) клина при наклоне фундамента 2° составлял $3,5^\circ$ (см. рис. 3, Д). Наклон оси сжатия при этом получаем на уровне 15° , что соответствует условиям горизонтального сжатия. Латеральной аккреции благоприятствовали соответствующие реологические условия в основании флишевой толщи, которые облегчали скольжение и быстрое счесывание отложений. Возможно, что роль пластической “смазки” играли глинистые слои в основании раннего мела (Геологічна..., 2004).

В Бориславско-Покутской части флишевого бассейна породы нижнего мела выпадают из разреза (Геологическое..., 1971; Геодинамика Карпат, 1985). Этот переход может означать изменение реологических условий в подошве чехла в сторону повышения коэффициента трения. Другим вероятным фактором усиления сцепления между чехлом и фундаментом мог быть погребенный рельеф. В его пользу свидетельствуют палеогеографические данные о наличии кордильер, которые пересекали флишевый бассейн (Геодинамика Карпат, 1985; Тектоно-магматическая..., 1995). С учетом этого переход от латеральной аккреции к покровообразованию трактуется здесь с точки зрения влияния погребенного рельефа, который подстилал отложения Бориславско-Покутской зоны (см. рис. 3, Б, В). При неизменных прочностных параметрах точка состояния переместилась в этот период из позиции узкого клина на кривую широкого клина. Угол кровли орогена при $\beta = 13^\circ$ достигал $7,5^\circ$, а ось сжатия принимала наклон в 55° (см. рис. 3, Д), что соответствует уже режиму горизонтального растяжения.

Условия покровного орогенеза поддерживались, по-видимому, до полного поглощения краевой зоны флишевого бассейна, – до бровки континентального склона и начала шельфа, за которым простиралась платформенная часть плиты, которая со временем явилась основанием для молассовых толщ Самборского краевого прогиба. Формирование последнего происходило за счет погружения края Восточно-Европейской платформы, причиной которого был, вероятно, изгиб плиты под нагрузкой флишевого орогена. Это произошло по завершению покровного деформирования Бориславско-Покутской зоны в раннем миоцене, когда смещение покровов в направлении платформы приостановилось или существенным образом замедлилось и приоритетной стала вертикальная компонента движения. Размеры и структура Самборского прогиба показаны на рис. 3, Г в соответствии с палинспастической моделью из работы (Паталаха и др., 2003). Залегание соленосных пород в основании (воротыщенские слои (Геодинамика Карпат, 1985)) могло обеспечить снижение коэффициента трения и восстановление перманентного скольжения орогена. Как следствие, осуществился переход от покровообразования к латеральной аккреции на фоне продолжающегося поддвига Восточно-Европейского кратона во вторую (штирийскую) фазу карпатской складчатости. Мощность эвапоритов была достаточной, чтобы способствовать эффекту маловязкого слоя в основании (см. рис. 1, В), что привело к формированию полной компрессионной складчатости. На этом этапе структуры Бориславско-Покутской зоны испытали некоторые осложнения,

в частности, вероятным было формирование складок изгиба и приразломного течения на фоне умеренного латерального сжатия, которые благоприятствовали формированию сводовых ловушек. Конечный результат деформаций отображают современные разрезы.

Заключение. Представленный в статье анализ данных лабораторных экспериментов показывает, что характерные особенности строения Флишевых Карпат и внутренних зон Предкарпатского прогиба могут быть поняты в рамках аккреционного процесса в контексте двух типовых его проявлений: латеральной аккреции и покровообразования. Механизм их реализации связывается с состоянием границы чехол/фундамент в рамках концепции поднадвига–клина. Крутые чешуи Скибовой зоны в значительной степени отвечают обстановке латеральной аккреции, в период формирования они слаги ороген типа узкого клина с минимальными величинами наклона поверхности (2–4°). Благоприятные реологические условия для его реализации могли определяться наличием высокопластичной, существенно глинистой прослойки пород в основании раннего мела. Формирование Бориславско-Покутской зоны было обусловлено переходом от латеральной аккреции к покровообразованию, причиной которому послужило упрочнение подошвы осадочной толщи (нельзя исключать также вариант прохождения подводного хребта, освещенный в модели (см. рис. 1, В)). Такая трансформация могла быть связанной с выпадением из разреза пластичных низов флиша (повышением коэффициента трения) или с появлением погребенного рельефа. В статье рассматривался последний вариант. Периодическая частичная субдукция чехла в поднадвиг орогена при повышенном сцеплении на границе чехол/фундамент и явилась механизмом покровообразования на данном этапе аккреции. Наклон основания широкого предельного клина мог составлять в этот период 13°, склон орогена – 7–8°. При деформации отложений Самборского краевого прогиба состоялся обратный переход к латеральной аккреции, обусловленный появлением в основании молассы пластичных соленосных воротыщенских слоев, достаточная мощность которых способствовала проявлению развитой складчатости.

Величины и стиль деформирования, присущие разным типам аккреционного процесса, дают представление о том, когда и при каких условиях складчато-надвиговые структуры оказываются неблагоприятными для нефтегазонакопления. Ключевым параметром здесь может быть компонента горизонтального сжатия. Очевидные малые величины деформации сжатия в пределах Бориславско-Покутской зоны не являются препятствием для локализации там залежей нефти. Тогда как сжатие в два и более раз, определенное для складок Скибовой и Самборской зон в работе (Паталаха и др., 2003), возможно, означает превышение критического уровня деформации, усиление разрушения, вследствие которого флюид удалялся из породы. Нефтяные залежи Бориславско-Покутской зоны могут иметь как реликтовый (доскладчатый) генезис, так и син- и послескладчатый (послепокровный). Сохранению реликтовых залежей нефти способствует в целом “сглаженный” стиль деформаций, сохранение литолого-стратиграфических границ в субгоризонтальном и слабонаклонном положении в условиях покровообразования. Само проявление покровов в процессе аккреции предусматривает частичную

субдукцию чехла в поднадвиг орогена, что, благодаря эффекту фильтпресинга (Паталаха и др., 2003), усиливает миграцию флюида, обеспечивая тем самым обогащение ловушек УВ.

Бокун А. Н. Экспериментальное изучение механизма формирования покровно-складчатых структур Украинских Карпат // М. В. Гзовский и развитие тектонофизики. – М. : Наука, 2000. – С. 165–173.

Вертикальная аккреция земной коры. – М. : Наука, 2002. – 457 с.

Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. – М. : Высш. шк., 1978. – 442 с.

Геодинамика Карпат. – Киев : Наук. думка, 1985. – 135 с.

Геологическое строение и горючие ископаемые Украинских Карпат. – М. : Недра, 1971. – 390 с.

Геологічна палеоокеанографія океану Тетіс / Ю. Сеньковський, К. Григорчук, В. Гнідець, Ю. Колтун. – К. : Наук. думка, 2004. – 178 с.

Гинтов О. Б. Тектонофизика в решении важных народнохозяйственных задач (обзор исследований в странах СНГ). 1 // Геофиз. журн. – 2009. – № 5. – С. 3–31.

Гончар В. В. Реологический контроль аккреционного и покровного стилей деформирования и напряженное состояние надсубдукционного орогена // Там же. – 2007. – № 6. – С. 116–137.

Крагельский И. В. Трение и износ. – М. : Машгиз, 1968. – 480 с.

Паталаха Е. И., Лукиенко А. И., Гончар В. В. Тектонические потоки как основа понимания геологических структур. – Киев, 1995. – 158 с.

Пейве А. А. Структурно-вещественные неоднородности, магматизм и геодинамические особенности Атлантического океана. – М. : Науч. мир, 2002. – 277 с.

Тектоника Украины. – М. : Недра, 1988. – 253 с.

Тектоническое развитие Украинских Карпат в свете тектоники литосферных плит / Г. Н. Доленко, Л. Г. Данилович, Л. Т. Бойчевская и др. // Тектоника Средиземноморского пояса. – М. : Наука, 1978. – С. 16–18.

Тектоно-магматическая эволюция Карпат. – Киев : Наук. думка, 1995. – 131 с.

Шеменда А. И. Моделирование крупномасштабных деформаций литосферы // Экспериментальная тектоника. Методы, результаты, перспективы. – М. : Наука, 1989. – С. 252–262.

Элементы геодинамики Карпат / Е. И. Паталаха, В. В. Гончар, И. К. Сенченков, О. П. Червинко. – Киев, 2003. – 151 с.

Cyclical behavior of thrust wedges: insights from high basal friction sandbox experiments / М.-А. Gutscher, N. Kukowski, J. Malavieille, S. Lallemand // *Geology.* – 1996. – Vol. 24. – P. 135–138.

Dahlen F. A. Noncohesive critical Coulomb wedges: an exact solution // *J. Geophys. Res.* – 1984. – Vol. 89. – P. 10125–10133.

Davis D., Suppe J., Dahlen F. A. Mechanics of fold-and-thrust belts and accretionary wedges // *Ibid.* – 1983. – Vol. 88. – P. 1153–1172.

Dominguez S., Malavieille J., Lallemand S. Deformation of accretionary wedges in response to seamount subduction: insights from sandbox experiments // *Tectonics.* – 2000. – Vol. 19. – N 1. – P. 182–196.

Koyi H., Hessami K., Teixell A. Epicenter distribution and magnitude of earthquakes in fold-thrust belts: insights from sandbox models // *Geophys. Res. Lett.* – 2000. – Vol. 27. – N 2. – P. 273–276.

Lallemand S., Schnurle P., Malavieille J. Coulomb theory applied to accretionary and nonaccretionary wedges: possible causes for tectonic erosion and/or frontal accretion // *J. Geophys. Res.* – 1994. – Vol. 99. – N B6. – P. 12033–12055.

Статья поступила
18.11.10

Віктор ГОНЧАР

**МЕХАНІЗМ ПОКРИВОУТВОРЕННЯ
ПІД ЧАС АКРЕЦІЇ ВІДКЛАДІВ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ**

Особливості орогенного розвитку Карпат і Передкарпатського прогину можна пояснити типовими акреційними умовами: латеральною акрецією і покривоутворенням. Розглянуто принципи аналізу піднасуву граничного акреційного клину. Контроль над механізмом акреції пов'язується зі станом межі чохол/фундамент, латерально-акреційна чи покривна деформації залежать не тільки від коефіцієнта тертя, але й рельєфу фундаменту.

Наведено елементи подібності будови тектонічних зон Карпат і Передкарпатського прогину з типовими структурами в експериментальних акреційних призмах. Структура Скибової зони зіставляється з крутою лускуватістю вузького акреційного клину, Самбірської зони – зі складчастістю в моделі з потужним слабков'язким детачментом, – обидві пов'язані з умовами латеральної акреції. Бориславсько-Покутська зона відповідає покривним структурам, які утворилися в моделях з високим коефіцієнтом тертя в підшві чохла. Показано палінспастичну модель розвитку фронту Карпат, у якій формування структурно-тектонічної зональності пов'язується з коливаннями в реологічних властивостях основи чохла. Утворення Бориславсько-Покутської зони зумовлене переходом від латеральної акреції до покривоутворення внаслідок ущільнення підшви осадової товщі, спричиненого впливом захороненого рельєфу. Нафтові поклади Бориславсько-Покутської зони можуть бути наслідком комплексу сприятливих умов, які створювалися під час покривоутворення: згладжений стиль деформації, збереження літолого-стратиграфічних границь у слабконахиленому положенні, ефект збагачення флюїдом унаслідок часткової субдукції чохла.

Victor GONCHAR

**MECHANISM OF NAPPING
DURING ACCRETION OF PRECARPATHIAN FOREDEEP BASIN**

Characteristic features of structure of East Flysh Carpathians and Precarpathian fore-deep basin are performed by zones with different forms of thrust-fold paragenesis: narrow and steep imbricates (Skybian zone), multiple nappes (Boryslav-Pokuttya) and detachment tight folds (Sambir zone). Its development may be understood in context of two basic settings: lateral accretion and napping. As laboratory sand-box experiments show the former is caused by low coefficient of friction at detachment fault and the latter – by high one. Detachment tight fold develops above ductile detachment layer with sufficient thickness and may be regarded as variant of lateral accretion.

The mechanical model is proposed in which the choice of lateral accretion or covering is realized in accordance with reological choice of the system “basement–sedimentary cover” (wedge–underthrust conception). It is proposed to deduce deformation scenario from mechanical state and relief of cover/basement boundary in the underthrust of accretionary wedge on a base of Coulomb friction criterion. The palinspastic model of development of frontal zones of East Carpathians during East Europe plate subduction and cover accretion is presented, in which a nappes formation within Boryslav-Pokuttya zone is regarded as a reaction on the proposed basement relief intensification.