
М.В. Козленко

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

СКОРОСТИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ КАК ИНДИКАТОР ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕДЕЛАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ

По данным МОВ ОГТ определены скорости осадконакопления ($V_{ос}$) в центральной части северо-западного шельфа Черного моря по шести временным срезам от средней юры до современности. Полученные графики показали отсутствие стабильности осадконакопления как во времени, так и по простиранию профиля. На основании анализа точек перегибов кривых $V_{ос}$ выделены разломы, некоторые из них могут быть источником поступления углеводородов. Исходя из анализа динамики осадконакопления и мигрирования локальных максимумов предложена схема эволюции Скифской плиты в месте сечения профилем в мезокайнозое.

Ключевые слова: северо-западный шельф Черного моря, скорости осадконакопления, разломы, эволюция Скифской плиты, мезокайнозой.

Введение

В настоящее время серьезное внимание привлекает изучение тектонических процессов в литосфере для выявления геодинамических режимов, эволюции и локализации разломов, которые могут быть подводными каналами поступления углеводородов из кристаллического фундамента в осадочный чехол. Способы нахождения дизъюнктивов различны: интерпретация аэрокосмических, а также геолого-геофизических данных, в частности, сейсмо- и гравитационного моделирования [11]; по зонам высоких горизонтальных градиентов потенциальных полей, изменению «структурного» плана аномального магнитного поля и линейным магнитным аномалиям «дайкового» типа [12]; на основе результатов расчета томографической инверсии первых вступлений сейсмических волн [7]. Возникновение и развитие разломов можно проследить также с помощью построения палеоструктурного разреза [5].

В данной работе рассматривается возможность использования скоростей осадконакопления в качестве индикатора актив-

© М.В. КОЗЛЕНКО, 2015



Рис. 1. Структурная схема северо-западного шельфа Черного моря; 1 — береговая линия; 2 — изобаты дна, м; 3 — положение профиля; 4 — локальные структуры, перспективные на залежи углеводородов: Б — Биостромная, Г — Юго-Западная Голицына, П — Приразломная-2, О — Оливковая, С — Сельского, К — Корнилова

ности тектонических процессов в центральной части северо-западного шельфа Черного моря (рис. 1): положения дислокаций в осадочном чехле и геодинамического режима в мезокайнозое.

По данным съемок МОВ ОГТ [1, 13] был построен сейсмоструктурный разрез, на основании которого проведено гравитационное моделирование [6, рис. 2]. Его результаты позволили выявить разломную тектонику в основном в кристаллической коре. Однако практический интерес имеют миграционные каналы углеводородов в осадочном чехле.

Скорости осадконакопления

Учитывая, что мощности отдельных горизонтов не дают полноценного представления о динамике тектонических процессов, поскольку временные интервалы отложения каждой из толщ разнятся, для каждого из структурных этажей вдоль профиля были рассчитаны скорости осадконакопления ($V_{ос}$) (рис. 2, а).

Полученные графики показывают отсутствие стабильности осадконакопления как во времени, так и по простиранию профиля — различные части одних и тех же главных структур развивались по-разному.

Самой северной структурной единицей в сечении профиля является Южно-украинская моноклираль, ограниченная с юга Голицынским разломом. В раннем мелу она в интервале профиля ПК 0—52 характеризуется равномерным осадконакоплением со скоростью чуть менее 0,01 мм/год. В позднем мелу характер процесса изменяется — южная оконечность прогибается сильнее — 3,0 мм/год по сравнению с 1,5 мм/год на нулевой отметке профиля. Более того, моноклираль нару-

шением ПК 17 разделяется на два участка, у которых северные края имеют интенсивность проседания на 0,01 мм/год меньше, чем южные. В палеоцен-эоцене данная структура сокращается до ПК 49, обе ее части вновь приобретают стабильную по всей их длине скорость погружения около 0,02 мм/год. В майкопе значения $V_{\text{он}}$ достигают значений, максимальных за всю историю развития в мезокайнозой: от 0,03 на севере до почти 0,065 мм/год на юге. Так же, как и в позднем мелу, более интенсивно процесс протекает у южной оконечности моноклинали, к тому же выделяется новый участок активности на ПК 40—49. В среднемиоцен-четвертичное время в северной и средней частях данной структуры скорость накопления осадков уменьшается примерно на 0,005 мм/год (около 20 %), а южная, наиболее активная часть смещается на ПК 38—46, характеризуясь постоянной величиной $V_{\text{он}}$ 0,038 мм/год. Моноклираль фактически заканчивается на ПК 46, что обусловлено постепенной миграцией к северу Голицынского разлома. Несмотря на описанные отличия, блок Южноукраинской моноклинали в целом имеет достаточно устойчивый характер развития — начиная с позднего мела южная часть опускается с большей скоростью по сравнению с северной.

Каркинитский прогиб как морфоструктурная единица занимает пространство от Голицынского до Сулинско-Тарханкутского разлома. Однако по распределению скоростей осадконакопления (рис. 2, а) на его северном склоне отчетливо выделяется структура второго порядка — Голицынский блок с неустойчивыми во времени границами. В средней и верхней юре в интервале профиля ПК 52—62 располагается осадочный карман с величиной $V_{\text{он}}$ порядка 0,01 мм/год. В раннем мелу этот участок проявляет себя как переходная зона между малоактивной Южноукраинской моноклиналью (0,02 мм/год) и интенсивно прогибающимся Каркинитским прогибом (0,06 мм/год). Поздний мел характеризуется значительным выравниванием скорости накопления осадков (0,035 и 0,047 мм/год соответственно). В палеоцен-эоцене интенсивность процесса остается примерно на том же уровне, но на фоне сопредельных структур данный участок отличается повышенными примерно на 0,005 мм/год значениями $V_{\text{он}}$. В майкопе скорость погружения фундамента усиливается на 0,025 мм/год (то есть более чем на 60 %), при этом происходит перестройка тектонического плана — в Голицынском блоке осадки накапливаются медленнее, чем на краю Южноукраинской моноклинали (на 0,01 мм/год) и в центре Каркинитского прогиба (на 0,02 мм/год). В среднемиоцен-четвертичное время указанная закономерность в целом сохранилась при общем снижении интенсивности проседания до 0,025 мм/год в центре описываемой структуры, то есть практически на одну треть меньше, чем за период от начала мела до конца эоцена. Размеры Голицынского блока увеличивались, и в настоящее время его границы располагаются на ПК 48 и 68.

Область наиболее интенсивного осадконакопления Каркинитского прогиба в раннем мелу занимала интервал профиля ПК 62—100, максимальное значение $V_{\text{он}}$ (0,06 мм/год) отмечается на северном крае, а минимальное (0,045 мм/год) — на южном. Из-за многочисленных разломов график скорости имеет неравномерную зубчатую конфигурацию. В позднем мелу интенсивность проседания основания увеличилась до 0,10 и 0,09 мм/год на северном и южном краях соответственно, но тектонически активная зона сузилась до ПК 75—92.

В палеогене возник Михайловский разлом (ПК 89), разделивший Каркинитский прогиб на два блока. Область усиленного осадконакопления сместилась к

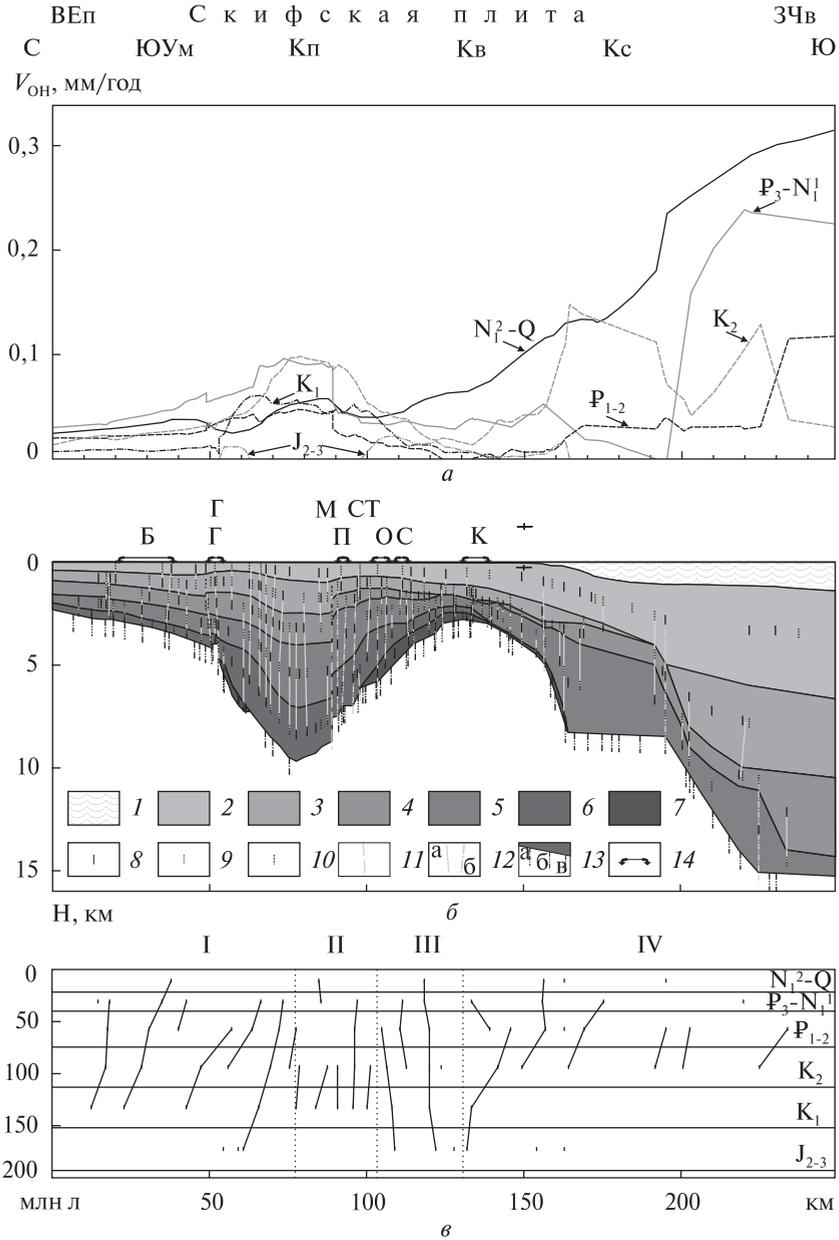


Рис. 2. Интерпретационный профиль: а — скорости осадконакопления; б — сейсмоструктурный разрез; в — схема миграции локальных максимумов скоростей осадконакопления. ВЕп — Восточноевропейская платформа, ЗЧв — Западночерноморская впадина, ЮУм — Южноукраинская моноклинал, Кп — Каркинитский прогиб, Кв — Каламитский вал, Кс — Краевая ступень. Разломы: Г — Голицынский, М — Михайловский, СТ — Сулинско-Тарханкутский. 1 — вода; осадочные слои: 2 — средний миоцен — голоцен (N_1^2-Q); 3 — майкопская свита ($P_3-N_1^1$), 4 — палеоцен — эоцен (P_{1-2}); 5 — верхний мел (K_2); 6 — нижний мел (K_1); 7 — доггер — малм (J_{2-3}); засечки, отмечающие точки перегибов графиков $V_{ОН}$: 8 — локальные максимумы; 9 — локальные минимумы; 10 — скачки скорости; разломы: 11 — зафиксированные сейсмикой; 12 — выделенные в результате интерпретации: а — в осадочном чехле, б — выходящие в фундамент; 13 — по литературным данным: (а — [12], б — [3], в — [4]); 14 — локальные структуры, перспективные на залежи углеводородов: Б — Биостромная, Г — Юго-Западная Голицына, П — Приразломная-2, О — Оливковая, С — Сельского, К — Корнилова

северу на 3 км, величина $V_{он}$ вновь упала и составила 0,045 мм/год. В отличие от позднего мезозоя, прогибание происходило равномерно. В южном блоке (до ПК 98), напротив, тенденция проседания фундамента сохранилась — северный край погружался быстрее южного (0,029 и 0,018 мм/год соответственно), хотя с меньшей разницей, чем в позднем мелу (0,090 и 0,052 мм/год). Майкопское время для северного блока характеризуется двукратным увеличением скорости отложения осадков со смещением северной границы до ПК 66. Тектоническая активизация на этом этапе проявляется не только значительным возрастанием $V_{он}$, но и усиленным разломообразованием, что отражено на графике появлением ундуляций. На южном участке прогиба прирост скорости накопления осадков был в два раза меньшим, чем на северном. Начиная со среднего миоцена область интенсивного проседания фундамента сузилась до ПК 75—88, а скорость вновь снизилась. При этом максимум скорости осадконакопления сместился к южной границе и составил менее 0,06 мм/год. В южном блоке, в отличие от северного, интенсивность проседания сохранилась примерно на том же уровне, что и в майкопе.

В целом область активного осадконакопления Каркинитского прогиба отличается цикличностью темпа отложения осадков — этапы пониженных значений $V_{он}$ закономерно чередуются с повышенными, причем величины этого параметра достаточно близки между собой (K_1 , P_{1-2} и N_1^2-Q в среднем 0,05 мм/год, K_2 и $P_3-N_1^1$ — около 0,095 мм/год). В южной части прогиба не наблюдается четкой ритмичности в изменении скоростей осадконакопления в течение мезокайнозоя.

Северный склон *Каламитского вала*, расположенный к югу от Сулинско-Тарханкутского разлома (ПК 98), отличается неравномерным распределением величины $V_{он}$ во времени и пространстве. В средне-поздней юре выделяются два участка интенсивного проседания фундамента — на ПК 104—112, где скорость осадконакопления составила 0,021 мм/год, и на ПК 121—123 ($V_{он} = 0,017$ мм/год). Ранний мел характеризуется резким перепадом скоростей на участке ПК 100—113, обусловленным формированием Каркинитского прогиба, с 0,047 до 0,012 мм/год. До ПК 122 данная величина сохраняется на этом уровне, сопоставимым с предыдущим временным интервалом, затем вновь следует понижение скорости к осевой части вала. В позднем мелу величина $V_{он}$ возрастает, отмечается общий тренд снижения интенсивности проседания с севера на юг с изменением градиента на ПК 113. Таким образом, несмотря на смену характера распределения скоростей, деление на те же два участка сохраняется. Палеоцен-эоценовое время характеризуется наименьшей интенсивностью протекания тектонических процессов. Кривая $V_{он}$ имеет ступенеобразную конфигурацию с общим понижением уровня в южном направлении, как и в мезозое. Южнее ПК 119 отмечается резкое снижение скорости осадконакопления вплоть до нуля на ПК 123. В майкопе проседание фундамента усиливается, при этом величина $V_{он}$ на краях данной структуры отличается незначительно — на 0,005 мм/год. Почти в центре склона, на ПК 112, подъемом кривой до 0,037 мм/год проявляется центр тектонической активизации.

В постмайкопское время характер отложения осадков кардинально меняется — интенсивнее прогибается не край Каркинитского прогиба, а осевая зона Каламитского вала. На интервале профиля ПК 100—112 прирост скорости составляет 0,005 мм/год, тогда как от ПК 112 до ПК 125, где $V_{он}$ достигает 0,090 мм/год, — 0,045 мм/год.

Осевая часть Каламитского вала, выделяемая по кровле консолидированного фундамента в интервале ПК 124—142, разделяется на два практически равных участка с границей на ПК 133. В северной части скорости осадконакопления в средней-поздней юре и раннем мелу составляют порядка 0,01 мм/год, причем в K_1 проседание происходило равномерно, в отличие от J_{2-3} , когда северный край погружался быстрее. В позднем мелу интенсивность прогибания складчатого основания увеличилась почти вдвое и вновь, как и в доггере-мальме, южный край опускался медленнее и с таким же градиентом. Отложения палеоцен-эоцена на этом отрезке профиля отсутствуют. В майкопе тектоническая обстановка на данном интервале осложнилась, о чем свидетельствует конфигурация кривой $V_{он}$: до ПК 128 эта линия полого опускается, а затем резко поднимается. Минимальная скорость накопления осадков в этот период составила около 0,030 мм/год, максимальная — почти 0,040 мм/год. Олигоцен-четвертичное время характеризуется равномерным проседанием земной коры с интенсивностью порядка 0,065 мм/год.

Южный участок осевой части вала также отличается временной изменчивостью тектонической активности. От доггера до конца раннего мела интенсивность осадконакопления была постоянной на уровне 0,005 мм/год. В позднем мелу величина $V_{он}$ значительно возросла, причем неравномерно: на северном крае она составила 0,014, на южном — 0,038 мм/год. В палеоцен-эоцене скорость проседания вернулась к значению, характерному для допозднемелового. В майкопе максимальный темп опускания фундамента сопоставим с позднемеловым (чуть меньше 0,04 мм/год), однако он отмечается на северном крае участка. Кроме того, прогибание в это время происходило более равномерно — минимальная величина $V_{он}$, зафиксированная на южном крае, равняется 0,033 мм/год. То есть, перепад значений в майкопе составляет 0,007 мм/год против 0,024 мм/год в позднем мелу. Начиная со среднего миоцена интенсивность накопления осадков увеличивается, и вновь происходит перестройка тектонического плана — опять быстрее погружается не северный, а южный край данного отрезка профиля (0,067 и 0,081 мм/год соответственно).

Южный склон Каламитского вала (ПК 142—165) по крутизне поверхности кристаллического основания можно разделить на две части, однако по конфигурации кривых $V_{он}$ этот интервал профиля разбивается на ряд мелких участков, протяженность которых различна для каждой из рассматриваемых эпох. В средне-поздней юре минимальная, достаточно равномерная, скорость порядка 0,003 мм/год фиксируется до ПК 157, затем происходит ее быстрое возрастание до 0,017 мм/год на ПК 163 и резкое падение вплоть до нуля на южном крае склона. Отложения нижнего мела в пределах данной структуры отсутствуют. Прогибание склона в позднем мелу происходило крайне неравномерно — изгибы кривой $V_{он}$ позволяют выделить шесть отрезков. Если рассматривать в целом, до ПК 146 скорость порядка 0,037 мм/год незначительно понижается с севера на юг. В интервале профиля ПК 146—157 этот параметр, наоборот, повышается с образованием ступеньки на уровне 0,042 мм/год. Следующий участок характеризуется резким возрастанием $V_{он}$ с 0,050 до 0,148 мм/год с увеличением градиента на ПК 163. В палеоцен-эоцене интенсивность осадконакопления, так же как и на примыкающем участке сводовой зоны, сопоставима со средне-позднеюрской. На участке ПК 142—146 величина $V_{он}$ с севера на юг незначительно увеличивается, в отличие от позднемеловой эпохи. До ПК 159 прогибание происходило практически

равномерно. В южной части склона вновь отмечается ускорение отложения осадков к подножию вала от 0,008 до 0,023 мм/год. В майкопе интенсивность проседания поверхности фундамента верхней части склона возвращается к верхнемеловым параметрам. В нижней части значение $V_{\text{он}}$ падает к Краевой ступени с 0,054 до 0,031 мм/год. В постранимиоценовое время скорость осадконакопления резко увеличивается, причем не равномерно: на северном крае склона прирост величины этого параметра по отношению к майкопу составляет 0,048 мм/год, тогда как на южном — более 0,100 мм/год. Тем не менее, кривая $V_{\text{он}}$ на всем протяжении описываемой структуры повышается достаточно равномерно, достигая у подножия ступени значения 0,131 мм/год.

В интервале ПК 170—250 проведенные вычисления отличаются значительно меньшей детальностью, поскольку южнее Каламитского вала разрез строился на основании не профильной съемки МОВ ОГТ [1], а по обобщенным площадным данным [13] (зафиксирована только кровля меловых осадков). Подошва этого комплекса задавалась на основании проведенного двумерного плотностного моделирования вдоль профиля [6]. В этих пределах наиболее древние зафиксированные осадки имеют меловой возраст без детализации. Учитывая, что по результатам сейсмических исследований [1] отложения раннего мела выклиниваются на ПК 140, в представляемой работе кривая скорости отложения докайнозойских пород южнее этой точки условно отнесена к позднемеловой.

В пределах *Краевой ступени*, выделяемой по поверхности меловых пород (ПК 165—195), отложения мела отличаются высокой скоростью осадконакопления, которая снижается в направлении с севера на юг до ПК 191 постепенно (с 0,148 до 0,112 мм/год), а затем круто падает до 0,072 мм/год. Конфигурация палеоцен-эоценовой кривой $V_{\text{он}}$ практически идентична с южным склоном Каламитского вала. Разница состоит в уровне, который почти в четыре раза выше, чем на предыдущем участке профиля. В отличие от более раннего временного среза интенсивность прогибания уменьшается с юга на север. Майкоп характеризуется дальнейшим снижением скорости накопления осадков, за исключением подножия Каламитского вала. Особенности проседания фундамента вернулись к существовавшим в позднемеловом времени — $V_{\text{он}}$ на северном крае данного блока больше, чем на южном. Следует отметить, что с мела по ранний миоцен тектоническая обстановка постоянно усложнялась: если на кривой K_2 выделяется два участка, то на ранне-среднепалеогеновой и майкопской — три и четыре соответственно. В постранимиоценовое время темпы осадконакопления существенно возросли — от 0,132 мм/год на северном крае ступени до 0,235 мм/год на южном. У подножия вала выделяется участок шириной порядка 11 км с более-менее равномерным характером погружения, а на ПК 192 фиксируется точка, южнее которой градиент $V_{\text{он}}$ увеличивается почти в три раза.

В земной коре *Западночерноморской впадины* южнее Краевой ступени выделяются два блока, в первом из которых (ПК 195—225) поверхность консолидированного фундамента резко погружается к центру глубоководной котловины, а во втором — залегает горизонтально на глубине 15 км. На границе этих блоков в мелу существовал центр прогибания, в котором скорость накопления осадков составляла почти 0,130 мм/год, тогда как по обе стороны от него величина этого параметра не превышала 0,040 мм/год. Северная часть первого участка (до ПК 203) находилась в зоне влияния опускания доальпийского складчатого основания в

**Предельные значения скорости осадконакопления в сечении профиля
(без учета Западночерноморской впадины)**

Временной интервал	Минимальное значение		Максимальное значение	
	величина, мм/год	местоположение	величина, мм/год	местоположение
K_1	0,006	Центральная часть Каламитского вала	0,060	Северный борт Каркинитского прогиба
K_2	0,014	Центральная часть Каламитского вала	0,148	Стык Каламитского вала и Краевой ступени
P_{1-2}	0	Центральная часть Каламитского вала	0,048	Центральная часть Каркинитского прогиба
$P_3-N_1^1$	0	Южная часть Краевой ступени	0,096	Центральная часть Каркинитского прогиба
N_1^2-Q	0,024	Северный борт Каркинитского прогиба	0,180	Южная часть Краевой ступени

пределах Краевой ступени, что обусловило увеличение значения $V_{он}$ к северу. Южнее ПК 234 располагалась область, в которой относительно невысокая интенсивность проседания коры снижалась в южном направлении. В палеоцен-эоцене эволюция северного участка протекала аналогично Краевой ступени, о чем свидетельствует в целом горизонтальная линия $V_{он}$ на уровне 0,030 мм/год с локальной ундуляцией на стыке этих двух структур. Самый южный отрезок профиля, который в мелу отличался низкой скоростью осадконакопления, в рассматриваемый период времени имел максимальный для всего профиля темп погружения, который в отличие от предыдущей эпохи в южном направлении понижался. В майкопе произошла резкая перестройка тектонического плана — вновь возник ярко выраженный центр активного опускания консолидированного фундамента, но уже не на границе блоков, а на ПК 220. В пределах северного крыла $V_{он}$ возросла от нуля до почти 0,240 мм/год с постепенно уменьшающимся градиентом (точки перегибов кривой на ПК 203 и 210). В южном направлении скорость осадконакопления линейно снижается до 0,225 мм/год. В постмайкопское время интенсивность погружения земной коры возрастает еще больше, причем активность процесса увеличивается от границы Краевой ступени к центру Западночерноморской впадины (0,235 и 0,315 мм/год соответственно).

Таким образом, тектоническая активность литосферы Скифской плиты в сечении профиля, начиная по крайней мере с мелового периода, проявлялась в основном в погружении земной коры, неравномерном в течение каждого временного интервала, о чем свидетельствует достаточно большой разброс минимальных и максимальных значений скоростей осадконакопления (таблица). Кроме того, центры прогибаний с течением времени меняли свое местоположение (см. табл.), а размеры областей, вовлеченных в проседание, изменялись. Так, в Каркинитском прогибе ширина зоны максимальной скорости накопления отложений уменьшалась от 58 км в раннем мелу до 23 км в эоцене, затем увеличивалась до 26 км к настоящему времени.

Разломная тектоника

Анализ кривых скоростей осадконакопления показывает, что, в целом, каждая из структурных единиц, выделяемых сейсмикой по подошве меловых отложений (Южноукраинская моноклиналь, Каркинитский прогиб, Каламитский вал, Краевая ступень и склон Западночерноморской впадины), обладает характерными особенностями значений V_{on} с конца юрского периода до среднего миоцена. При этом графики V_{on} представляют собой ломаные линии, состоящие из чередующихся небольших по ширине участков с относительно повышенными и пониженными величинами скоростей осадконакопления. Это указывает на то, что процессы прогибания в каждом из блоков, вероятно, определялись не одним тектоническим импульсом, а совокупностью нескольких локальных. Места, соответствующие таким импульсам, на кривых выражаются выгнутыми участками, тогда как менее затронутые опусканием области — прогнутыми. Границы между тектонически более активными и пассивными областями по графикам V_{on} определить затруднительно, поэтому на сейсмоструктурный разрез по соответствующим временным интервалам были вынесены все точки перегибов (отдельно для выпуклых и вогнутых участков кривых) (рис. 2, б). Очевидно, что места, где на нескольких подряд структурных этажах отмечаются относительные максимумы, должны соответствовать осям долгоживущих прогибаний, тогда как минимумы — фиксировать центры более устойчивых зон. Чередования по вертикали точек перегиба разного типа скорее всего указывают на нестабильные зоны, которые могут представлять собой тектонические нарушения.

Как видно на рис. 2, б, стабильно развивавшихся участков в сечении профиля не имеется, фактически каждая точка меняет степень своей активности с течением времени, причем подавляющее большинство — в каждом последующем временном интервале. Для визуализации предполагаемых разломов засечки, соответствующие точкам перегиба графиков скоростей осадконакопления, вынесенные по центру каждого структурного этажа, были соединены сплошными линиями. Там, где отметки расположены очень близко друг к другу (менее 1 км), прямые проводились между ними. В некоторых местах полученные линии трассируются на перегибы поверхности консолидированного основания, то есть такие предполагаемые разломы имеют явно глубинное заложение и обозначаются штрихпунктиром (выведены ниже подошвы осадочного чехла). На сейсмоструктурном разрезе четко выделяются Голицынский и Михайловский разломы, которые на графиках скоростей (рис. 2, а) проявляются скачком значений V_{on} , а на рис. 2, б обозначены пунктиром.

Полученные результаты были соотнесены с имеющимися литературными данными. Для этого на поверхность фундамента были нанесены разломы, выделенные по разным методикам [3, 4, 12]. Следует отметить, что из суммарного количества нарушений (64) в этих трех работах совпало положение только у семи пар, и только один дизъюнктив зафиксирован всеми тремя исследованиями. Важно также, что четко зарегистрированного сейсмической съемкой Михайловского разлома, по которому поверхность фундамента смещается более чем на 1 км, ни у одного из указанных авторов нет.

Сопоставление положения разломов показало, что в пределах Южноукраинской моноклинали и Каркинитского прогиба из 20 определенных предыдущими

исследователями дизъюнктивов предлагаемой в данной статье методикой не были зафиксированы только два. В то же время в этом интервале автором дополнительно выделено 20 нарушений, из которых девять — долгоживущие, охватывающие как мезо-, так и кайнозойские осадочные горизонты. По Каламитскому валу статистика несколько иная. Совпало положение 13 дислокаций, не отмечено пять, добавлено 16, из них семь мезокайнозойских. Южнее из-за недостатка фактического материала большинство (11) установленных [4] разломов не нашли отражения. Вместе с тем общими оказались четыре нарушения и дополнительно определено шесть, из которых один пересекает всю осадочную толщу.

Хорошее совпадение положений линий, соединяющих точки перегиба графиков скоростей осадконакопления, с разломами в пределах шельфа, выделенных в работах [3, 4, 12] (31 из 38), позволяет сделать вывод, что места смены градиента на кривых $V_{ос}$ по временной разверстке действительно трассируют зоны тектонических нарушений.

На рис. 2, б было выделено 75 дислокаций, подавляющее большинство которых (65) фиксируется до ПК 165, где заканчивается профиль МОВ ОГТ. Таким образом, на этом отрезке разреза один разлом приходится примерно на 2,5 км. Южнее Каламитского вала выделено всего 10 дизъюнктивов, что связано с менее детальными сейсмическими данными о кайнозойских осадочных горизонтах, а также отсутствием сведений о глубине залегания кровли консолидированной коры, положение которой определялось по результатам плотностного моделирования [6].

Меньше половины (32) выделенных разломов прослеживается только в двух смежных временных интервалах, и только восемь пересекают весь осадочный чехол. Явно глубинное заложение имеют 14 дислокаций, включая определенные по данным сейсмической разведки Голицынский, Михайловский и Сулинско-Тарханкутский разломы. Как известно, на границе эоцена и олигоцена произошло резкое изменение условий осадконакопления — ранне-среднепалеоценовую карбонатную формацию сменяют терригенно-глинистые породы майкопа [2]. Однако на разломной тектонике района исследований эта перестройка отразилось слабо: перед майкопской толщей затухает всего 19 разломов, возникших на более ранних этапах эволюции, тогда как пересекают ее 35.

Большинство (75 %) выделенных дислокаций являются вертикальными. Наклонные почти поровну разделяются на имеющие северное (10) и южное (9) падение. Углы наклона широко варьируют — от 1 до 32°, причем менее 10° зафиксировано у шести нарушений, от 10 до 20° — у семи, 20—30° — у четырех и более 30° — всего у двух. В пространственном распределении дизъюнктивов отмечается определенная закономерность.

На бортах Каркинитского прогиба выделяются пары глубинных разломов, падающих к осевой зоне, в то время как расположенные в центре нарушения не прослеживаются по поверхности фундамента, то есть локализируются только в осадочном чехле, и воздымаются к оси прогиба. Такое распределение дизъюнктивов свидетельствует о явно рифтовом происхождении данной структуры.

На отрезке склона Каламитского вала (до ПК 120) разломы имеют ту же направленность (северное падение), что и на прилегающем борту прогиба. Они расположены в пределах осадочного чехла и имеют разный возраст заложения (от J_{2-3} до K_2). В пределах остальной части вала нарушения наклонены в обратную

сторону, все прослеживаются начиная со средне-верхнеюрского горизонта, большая часть из них продолжается в кристаллическом основании. Такое различие в характеристиках элементов разломной тектоники указывает на то, что нижняя половина северного склона Каламитского вала развивалась в тесной связи с процессами в Каркинитском прогибе, тогда как эволюция остальных частей вала обуславливалась иным фактором.

К Южноукраинской моноклинали и склону Западночерноморской впадины приурочено только по одному наклонному нарушению, каждое из которых имеет северное падение под углом около 30° .

С точки зрения поиска перспективных на углеводороды объектов из всех выделенных зон нарушений особый интерес представляют те, которые прослеживаются в консолидированный фундамент, то есть имеют глубинное заложение и протягиваются вверх по крайней мере до осадочного горизонта верхнего мела. В породах данного возраста зафиксированы газ и газоконденсат в скважинах Шмидта № 6 (в интервале 2917—2932 м), Фланговая № 2 (3022—3038 м) и Каркинитская № 1 (3577—3590 м). Верхним пределом обнаруженных промышленных газовыделений служат отложения среднего неогена, полученные на глубине 620—626 м в скв. Архангельская № 1.

Интерпретируемый профиль пересекает четыре нефтегазоперспективные локальные структуры. Разломов глубинного заложения на разрезе до бровки шельфа выделено 35. В пределах Биостромной отмечается три указанных нарушения, одно из которых пересекает всю осадочную толщу. Структура Юго-Западная Голицына находится в зоне Голицынских транскоровых разломов. Приразломная-2, расположенная южнее Михайловского разлома, ограничена с двух сторон глубинными долгоживущими дизъюнктивами. К центру Оливковой тяготеет эшелонированная дислокация, протягивающаяся от консолидированного основания до майкопского горизонта включительно, еще один разлом подобного заложения находится у южного фланга данной структуры. Почти в осевой зоне стр. Корнилова отмечается аналогичное нарушение, к ее южному краю выходит наклонный разлом, достигающий отложений палеоцен-эоцена.

В то же время, наличие глубинных разломов не гарантирует накопления углеводородов в осадочном чехле. Так, в южном борту структуры Сельского выделяется нарушение, протягивающееся от юрской до майкопской толщи. Тем не менее, в пробуренных в данном районе скважинах № 40 и 43 не были обнаружены признаки нефтегазоносности.

Геодинамический режим

С целью изучения развития во времени процессов прогибания на рис. 2, в были вынесены только точки перегибов графиков $V_{\text{он}}$, отвечающие локальным максимумам осадконакопления. Чтобы исключить неравномерность тектонических движений в разных пунктах профиля, структурные этажи по вертикали отображены не в их реальной мощности, а в соответствии со временем образования каждого из горизонтов. Для визуализации хода эволюции засечки были соединены между собой прямыми.

Почти половина (11 из 23) временных траекторий точек повышенной скорости накопления отложений охватывают только два структурных этажа, и толь-

ко два прослеживаются на всем протяжении формирования осадочной призмы. Практически все линии наклонные, что указывает на миграцию в процессе эволюции центров прогибания. По направлению и величине угла наклона можно выделить четыре участка. Очаги проседания фундамента заметно смещаются к югу до ПК 78 (I) и южнее ПК 131 (IV), мало подвижны в интервале профиля ПК 78—103 (II). Между ПК 103 и 131 (III) движение в основном происходило в северном направлении. Это деление на зоны в целом соотносится со строением разреза — первая охватывает Южноукраинскую моноклинал и северный борт Каркинитского прогиба, вторая — южный склон прогиба и часть Каламитского вала, примыкающую с юга к Сулинско-Тарханкутскому разлому, третья — северный борт вала, четвертая объединяет его южный склон, Краевую ступень и переходную область к Западночерноморской впадине.

Разнонаправленные смещения центров активности в процессе эволюции на участке изучаемого профиля севернее гребня Каламитского вала могут быть объяснены несколькими тектоническими механизмами.

Во-первых, исходя из рифтовой природы Каркинитского прогиба, можно предположить, что остывание мантийного астенолита протекало от краев к центру, что обеспечивало постепенное смещение центров проседания от периферийной к осевой области, в которой опускание происходило вертикально. В таком случае, центральная часть диапира должна находиться на участке II, а его крыльям соответствуют области I и III (рис. 2, в). В этом случае вызывают вопросы несовпадение оси диапира с наиболее погруженной зоной прогиба, а также ширина астенолита, составляющая порядка 145 км.

Во-вторых, смещение локальных центров проседания во времени может быть кажущимся. То есть, прогибание коры вызывалось нисходящими тектоническими движениями над неподвижными центрами, находящимися в мантии, изменялось только положение их проявлений в каждом последующем осадочном горизонте в результате горизонтальных подвижек, создававших в данном регионе режим либо растяжения, либо сжатия.

В первом случае происходило раздвижение бортов Каркинитской впадины с латеральным наращиванием коры. При этом участок, испытавший погружение, отодвигался от оси рифта, и на этом месте прогибался последующий слой отложений. Однако линии, соединяющие центры прогибаний, на каждом этапе имеют разные углы наклона, то есть в одно и то же время разные участки отодвигались с разной скоростью, что нереально. Величина суммарного смещения локальных максимумов скорости осадконакопления возрастает по мере удаления от рифта — от 4 до 8,5 км в южном направлении и до 15 км в северном. Таким образом, по данному параметру общее раздвижение коры должно было составить от 8 км в близлежащих областях до 23,5 км на периферии, что нелогично.

Во втором случае, в результате давления Западночерноморской плиты на Восточноевропейскую, поверхность фундамента Скифской плиты начала прогибаться, образовав Каркинитскую впадину с центром на ПК 78. В дальнейшем при продолжающемся сжатии возникшая синеклиза углублялась, угол наклона бортов увеличивался, что привело со временем к визуальному смещению центров прогибаний от места их реального заложения в каждом из временных интервалов. Необъяснимо с данной точки зрения то, что направление линий максимумов V_{on} во II интервале профиля не соответствует падению кровли консолидированной коры.

Таким образом, ни один из трех указанных механизмов не объясняет полностью наблюдаемую на рис. 2, *в* картину миграции центров тектонической активности. Следовательно, развитие данного региона определялось совокупностью нескольких факторов.

Исходя из анализа сведений о разломной тектонике и геодинамическом режиме структурных единиц, полученных в результате анализа динамики отложения пород (см. рис. 2, *а*) и мигрирования локальных максимумов осадконакопления (см. рис. 2, *в*), автор предлагает следующую схему эволюции Скифской плиты в мезокайнозой в месте сечения профилем.

В конце юры начинается остывание периферийных частей мантийного астенолита, породившего Каркинитский рифт, что проявляется в смещении центров прогибания в I и III участках по направлению ко второму (рис. 2, *в*). В мелу происходит кристаллизация ядра внедрившегося мантийного диапира с вертикальным проседанием фундамента в зоне II, сопровождавшимся резким увеличением скорости осадконакопления в данной области (рис. 2, *а*). Причем в позднем мелу, судя по графику *Уон*, прогибание коры в прогибе было обусловлено отдельными процессами в двух сопредельных областях с границей между ними на ПК 89.

Со второй половины позднего мела (сантон-кампан) по палеоцен включительно Скифская плита испытывает сжатие [9]. В этом режиме поверхность консолидированного основания начинает вдавливаться в ослабленной точке — на месте раннемелового локального прогибания примерно в центре редуцированного вследствие рифтогенеза участка коры (ПК 78). Углубление Каркинитского прогиба вызывает последовательное увеличение углов наклона бортов, что приводит к визуальному смещению локальных максимумов осадконакопления от краев к центру впадины. В то же время горизонтальное перемещение плиты при фиксированных центрах прогибания создает видимость смещения этих точек в направлении, обратном движению плиты. Судя по траекториям локальных максимумов *Уон* на разных участках профиля, режим сжатия обуславливало продвижение на север Западночерноморской плиты в зоне I, где борт впадины погружается в южном направлении. Результаты воздействия обоих описанных факторов суммируются, поэтому наклон линий, представленных на рис. 2, *в*, достаточно велик; в зоне II к концу мела затухают все локальные прогибания, кроме одного, вертикального, связанного, очевидно, с продолжавшейся кристаллизацией внедрившегося расплава; в зоне III борт Каламитского вала имеет северное падение и поэтому смещения, обусловленные прогибанием и сдвигом, противоположно направлены и должны вычитаться, при этом падение линий в южном направлении указывает на то, что эффект от изгибания превышает влияние движения плиты; в зоне IV тренд линий обусловлен суммарным воздействием: движением плиты к северу и прогибанием фундамента в южном направлении в результате начавшегося в позднем мелу развития Западночерноморской впадины.

В самом конце мела сжатие Скифской плиты приводит к тому, что наряду с продолжающимся прогибанием Каркинитской впадины возникает другая ось, но выгибания вверх. Это приводит к воздыманию сводовой части Каламитского вала, о чем свидетельствует отсутствие здесь отложений маастрихта [1].

На рис. 2, *а* видно, что в позднем мелу в пределах Каркинитского прогиба существовали две области проседания фундамента с центрами на ПК 79 и 91, граница между которыми располагалась на ПК 89. В палеогене достигается предел

прочности коры к пластической деформации в процессе сжатия и происходит разрыв сплошности консолидированного основания с образованием Михайловского разлома на стыке указанных участков. На то, что этот дизъюнктив разделяет блоки с различными реологическими свойствами, указывают отличия в характере разломов и конфигурации поверхности консолидированного фундамента по обе стороны от данного нарушения (рис. 2, б) — к югу от ПК 89 кровля кристаллического основания разбита многочисленными дислокациями, пересекающими почти весь осадочный чехол. С другой стороны прогиба разгрузка горизонтальных напряжений происходила по уже существовавшему Голицынскому разлому древнего заложения. Дальнейшее сжатие привело к выдавливанию блока от Михайловского разлома до гребня Каламитского вала включительно, доказательством чего служат минимальные за всю историю развития этого участка скорости осадконакопления, вплоть до выклинивания отложений палеоцен-эоцена в пределах осевой части вала (см. рис. 2, а).

В майкопе вся Скифская плита испытывает быстрое проседание, о чем свидетельствуют изменение фациального состава отложений (карбонатные осадки внешнего шельфа сменяются относительно глубоководными терригенными, преимущественно глинистыми [2]), а также резкое увеличение скорости осадконакопления на протяжении профиля вплоть до Краевой ступени (см. рис. 2, а). Этот временной период характеризуется более выразительным разделением Скифской плиты на блоки с резкой дифференциацией скоростей $V_{он}$ — судя по рис. 2, а, к югу от Голицынского разлома существовал блок горстообразной конфигурации, фактически связанный с областью развития средне-верхнеюрского краевого прогиба. Средняя часть Каркинитского прогиба имела вид четко выраженного грабена. Область южнее Михайловского прогиба вплоть до северной зоны Краевой ступени представляла собой обширную подводную возвышенность. Еще более высокое гипсометрическое положение занимала остальная часть ступени, южный конец которой даже выступал выше уровня моря. Такое «клавишное» строение обычно наблюдается для рифтовых структур, то есть кора находится в режиме растяжения [10], хотя согласно [9], в пределах окраин Черноморской впадины с конца эоцена возобновляется режим сжатия. Уменьшение угла наклона большинства линий на рис. 2, в в интервале времени палеоцен-миоцен может объясняться двояко: либо интенсивность сжатия Скифской плиты к концу майкопа была меньшей, чем в палеоцене, либо достаточно высокая степень регионального сдавливания компенсировалась локальным расширением в районе Каркинитского прогиба. Исходя из динамики прироста скорости осадконакопления, Западночерноморская впадина максимально резкое погружение за все время существования испытывала именно в майкопе, в течение которого котловина расширилась в северном направлении на 13 км (см. рис. 2, б).

В постмайкопское время Западночерноморская впадина в сечении профиля увеличилась еще на 24 км (рис. 2, б) при возрастании скорости $V_{он}$. Равномерное наращивание скорости отложения осадков с севера на юг в интервале профиля ПК 103—192 (см. рис. 2, а) свидетельствует о том, что нисходящие движения, происходящие в котловине, охватили своим влиянием не только IV, но и III тектонический блоки, выделяемые на рис. 2, в: как Краевую ступень, так и весь Каламитский вал. Незначительное нарушение этого тренда на ПК 140—172 обусловлено повышением количества осадочного материала, связанным с разгрузкой

твердых стоков в зоне конуса выноса Палеоднепра. Подобное относительное увеличение скорости $V_{он}$ на ПК 62—82 может указывать на изменение локализации конуса выноса в течение неоген-четвертичного временного интервала в результате регрессии моря. На многостадийную миграцию бровки шельфа в данном районе указывают результаты бурения [8]. Отсутствие четких границ, в том числе связанных с Голицынским и Михайловским разломами (см. рис. 2, а), между блоками с разными скоростями осадконакопления в Каркинитском прогибе указывает на затухание тектонических процессов в данном районе начиная со среднего миоцена. Подавляющее большинство линий на рис. 2, в приобретают субвертикальное направление, что указывает на вероятное прекращение режима сжатия Скифской плиты, о чем свидетельствует также прекращение смещения к северу линии Голицынского разлома.

Выводы

По данным МОВ ОГТ определены скорости осадконакопления в центральной части северо-западного шельфа Черного моря по шести временным срезам от средней юры до современности. Полученные графики показывают отсутствие стабильности осадконакопления как во времени, так и по простиранию профиля — различные части сформированных главных структур развивались по-разному.

На основании анализа точек перегибов кривых $V_{он}$ намечено положение разломов в осадочном чехле. Хорошее совпадение полученных результатов с данными предыдущих исследований позволяет сделать вывод, что данную методику вполне можно применять для определения зон тектонических нарушений.

Выделено 35 разломов, отвечающих критериям транспортировки углеводородов из кристаллического фундамента в осадочный чехол. Часть из намеченных нарушений приурочены к уже известным нефтегазоперспективным структурам.

Исходя из анализа динамики отложения пород и мигрирования локальных максимумов осадконакопления предложена схема эволюции Скифской плиты в мезокайнозой в сечении профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безверхов Б.Д.* Тектоника мезокайнозойского осадочного чехла на северо-западе Черного моря, как основа прогнозирования нефтегазопроисковых работ (по материалам сейсморазведки) : Дис. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.12 / Одес. ун-т им. И.И. Мечникова. — Одесса, 1988. — 205 с.
2. *Стратиграфія мезокайнозойських відкладів північно-західного шельфу Чорного моря* / Гожик П.Ф., Маслун Н.В., Плотнікова Л.Ф., та ін. — К. : ЛОГОС, 2006. — 170 с.
3. *Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків родовищ вуглеводнів у північно-західному шельфі Чорного моря* / Гожик П.Ф., Чебаненко І.І., Євдощук М.І. та ін. — К. : ЕКМО, 2007. — 232 с.
4. *Занкевич Б.А., Шафранская Н.В.* Тектоническая позиция зоны газовых факелов северо-западной части Черного моря // Геол. и полезн. ископ. Миров. океана. — 2009. — № 3. — С. 35—54.
5. *Козленко М.В., Козленко Ю.В.* Глубинное строение и развитие Скифской плиты в мезокайнозой в сечении профиля МОВ ОГТ № 598506 // Геофиз. журнал. — 2013. — 35, № 2. — С. 98—110.
6. *Козленко М.В., Козленко Ю.В.* Структура литосферы и эволюция осадочного чехла центральной части северо-западного шельфа Черного моря // Геофиз. журнал. — 2014. — 36, № 4. — С. 65—74.

7. Козленко М.В., Козленко Ю.В., Лысыничук Д.В. Глубинное строение земной коры западной части Черного моря по результатам комплексной переинтерпретации геофизических данных по профилю ГСЗ № 25 // Геофиз. журнал. — 2009. — 31, № 6. — С. 77—91.
8. Конигов Е.Г., Фащевский С.Н., Главацкий А.Б. Реконструкция колебаний уровня Черного моря в среднем и позднем плейстоцене и голоцене по материалам бурения на северо-западном шельфе // Геологические проблемы Черного моря / Глав. ред. В.И. Старостенко. — К., 2001. — С. 271—277.
9. Никишин А.М., Коротаев М.В., Болотов С.Н., Еришов А.В. Тектоническая история Черноморского бассейна // Бюлл. МОИП. Отд. геологии. — 2001. — 76, вып. 3. — С. 3—18.
10. Полянин В.С., Дусманов Е.Н. Геология и металлогения складчатых областей. — Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2013. — 161 с.
11. Сейсмогравитационное моделирование при изучении литосферы / Отв. ред. В.И. Старостенко, Ян Шванцара. — К. : Наук. думка, 1994. — 292 с.
12. Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Макаренко И.Б., Русаков О.М., Кутас Р.И., Легостаева О.В. Разломная тектоника консолидированной коры северо-западного шельфа Черного моря // Геофиз. журн. — 2005. — 27, № 2. — С. 195—207.
13. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины / Д.А. Туголесов, А.С. Горшков, Л.Б. Мейснер и др. — М. : Недра, 1985. — 215 с.

Статья поступила 09.12.2014

М.В. Козленко

ШВИДКОСТІ ОСАДОНАГРОМАДЖЕННЯ ЯК ІНДИКАТОР ТЕКТОНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕЖАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ

За даними МВХ ЗГТ визначено швидкості осадонагромадження (*Yon*) в центральній частині північно-західного шельфу Чорного моря по шести часових зрізах від середньої юри до сучасності. Отримані графіки показали відсутність стабільності осадонагромадження як у часі, так і за простяганням профілю. На підставі аналізу точок перегинів кривих *Yon* виділено розломи, деякі з них можуть бути джерелом надходження вуглеводнів. Виходячи з аналізу динаміки осадконагромадження і міграції його локальних максимумів, запропоновано схему еволюції Скіфської плити в мезокайнозой в місці перетину профілем.

Ключові слова: північно-західний шельф Чорного моря, швидкості осадонагромадження, розломи, еволюція Скіфської плити, мезокайнозой.

M.V. Kozlenko

SEDIMENTATION RATE AS AN INDICATOR OF THE TECTONIC PROCESSES ON THE NW BLACK SEA SHELF

According to common-depth-point shooting data along the profile 568 408, sediment accumulation rates in central part of the Black Sea North-West shelf are estimated over six time cuts, from middle Jurassic to present. Obtained diagrams showed sedimentation unstability through time and along the profile. Based on curve bend points analysis the faults are indicated; some of them may be the source of hydrocarbon income. On the basis of analysis of sedimentation dynamic and its local maximums migration, the scheme of Scythian Plate evolution in Meso-Cenozoic along the profile is suggested.

Key words: the Black Sea North-West shelf, sediment accumulation rates, faults, Scythian Plate evolution, Meso-Cenozoic.