

УДК 551.352:550.834(262.5)

## ТРАНСГРЕССИВНЫЕ И РЕГРЕССИВНЫЕ СЕЙСМОФАЦИИ ДУНАЙСКОГО ПАЛЕОКОНУСА ВЫНОСА

© 2001 г. В. Н. Москаленко

Южное отделение Института океанологии РАН, 353470 Геленджик, Океанология, Россия

Поступила в редакцию 16.02.99 г.

Выполнен сейсмостратиграфический анализ и проведена геологическая интерпретация данных сейсмо-акустического профилирования в районе распространения конусов выноса Дуная и Днепра (на северо-западном материковом склоне Черного моря). Выделены три реперные поверхности структурного несогласия и размыва, определены комплексы осадочных отложений, соответствующие трем основным фазам регрессии и трансгрессии в Черном море, сопоставлены по времени с четвертичными оледенениями.

**Ключевые слова.** Черное море, плейстоцен, конус выноса, регрессия, трансгрессия, сейсмостратиграфия.

### ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 60-х годов в западной и северо-западной частях Черного моря в области распространения гигантского палеоконуса выноса Дуная в большом объеме проводились сейсмические исследования различными методами (МОВ ОГТ, НСП). В этих работах использовались в качестве источников сейсмических волн пневмоизлучатели и спаркер. Сейсмические исследования МОВ ОГТ были ориентированы в основном на изучение всей мощной осадочной толщи. В связи с этим использовалась низкочастотная сейсморазведка с достаточно низкой разрешающей способностью. На сейсмических разрезах, пересекающих структуру конуса выноса, само аккумулятивное тело занимало небольшую часть, давая лишь самые общие представления о форме, размерах и положении в плане конуса выноса на материковом склоне Черноморской впадины.

Первые целенаправленные сейсмоакустические исследования Дунайского палеоконуса выноса были выполнены в 1969 г. на нис "Атлантис-П" (Ross et al., 1974). По материалам этой экспедиции было получено первое представление о размерах палеодельты.

Основные его параметры и общие черты строения определены по результатам последующих региональных сейсмических работ методом МОВ ОГТ, осуществленных НПО "Южморгео" в 1975–1976 гг. (Горшков и др., 1993; Казанцев и др., 1978; Туголесов и др., 1985).

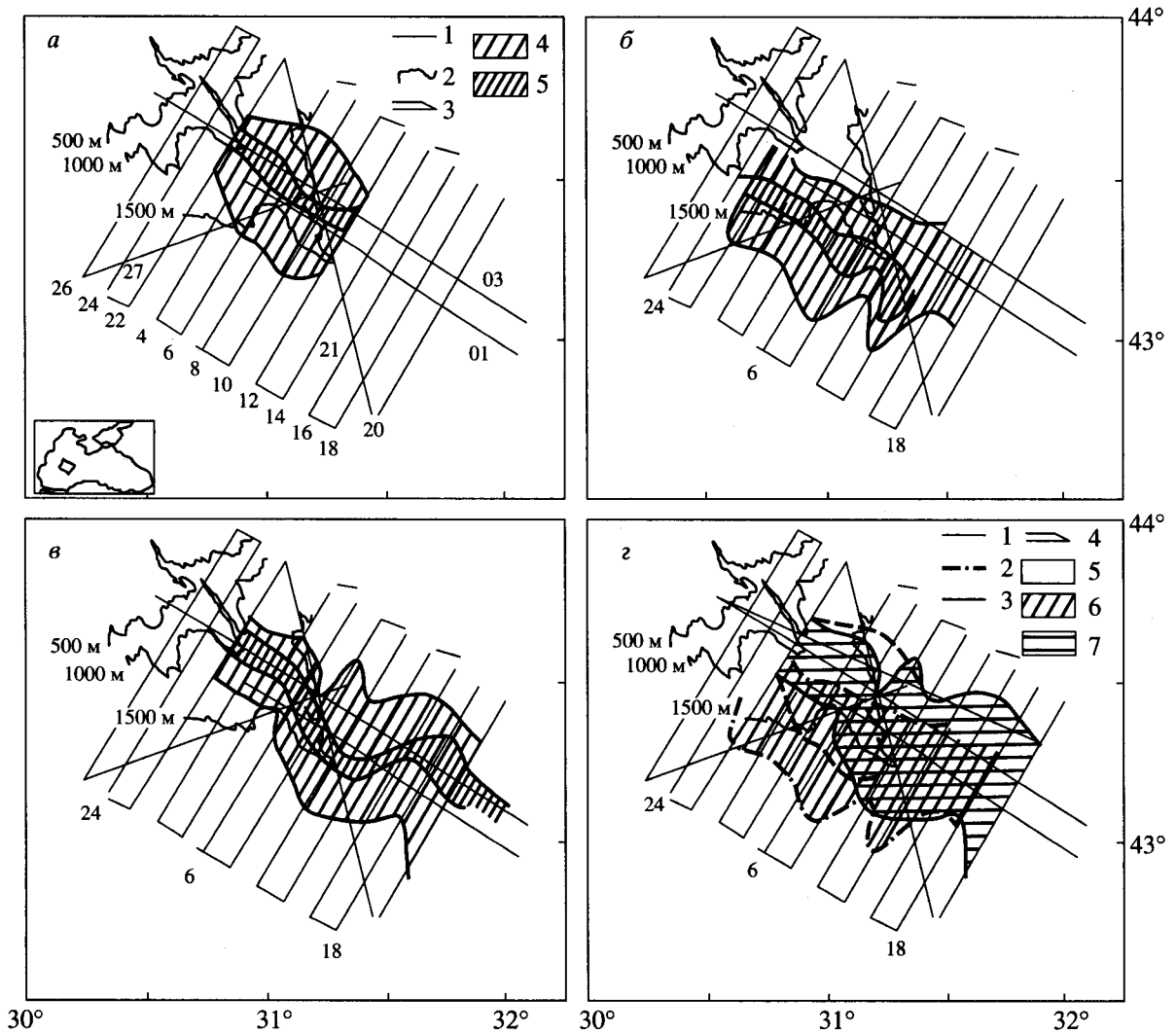
Детальные данные о внутренней структуре палеоконуса выноса рек Дуная–Днепра и Днепра на северо-западном материковом склоне Черного моря были получены в 1993 г. во время международной экспедиции на нис "Геленджик", осуществленной ГП ЦГГЭ Госкомнедра при участии

ученых Румынии и ФРГ (Шимкус и др., 1997). По материалам этой экспедиции удалось провести сейсмостратиграфический анализ сложно построенной осадочной толщи в пределах конуса выноса. Материалы этой экспедиции легли в основу данной статьи.

Работы выполнены одноканальным высокочастотным сеймопрофилированием методом отраженных волн на полигоне размером 110 × 100 км по системе из 12 параллельных профилей (рис. 1), расположенных через 10–11 км, и 4-х секущих профилей. Профили пересекают аккумулятивное тело конуса выноса в крест его простирания. Полигон протягивается от бровки шельфа до подножья материкового склона и выходит в область абиссали Черноморской впадины. В пределы полигона попадают основные части конуса выноса: врезы палеодолин вблизи края шельфа, аккумулятивные тела срединной и дистальной частей конуса выноса. Высокочастотные сейсмические исследования позволили впервые получить данные об особенностях внутренней структуры конуса выноса.

Кроме этих материалов, при подготовке статьи учтены результаты сеймопрофилирования МОВ ОГТ, отработанные научно-исследовательскими судами НПО "Южморгеология" в 1975–1976 гг., и Южного отделения ИО РАН (нис "Проф. Штокман", 1981 г.) (Коган и др., 1987), а также Геофизического института Триеста (Finnetti et al., 1988).

Конус выноса палеорек Дуная, Днестра и Днепра занимает почти весь северо-западный континентальный склон Черного моря, южную часть шельфа и своей дистальной частью далеко протягивается в абиссальную глубоководную впадину Черного моря. Он занимает площадь около 50 тыс. км<sup>2</sup> при мощности слагающих отложений



**Рис. 1.** Расположение палеоконусов различного возраста в плане.

*а* – миндельской эпохи, *б* – верхнерисской эпохи, *в* – верхневюрмской эпохи, *г* – взаимное пространственное положение трех палеоконусов выноса; *а–в*: 1 – контуры осадочных тел, 2 – изобаты, м, 3 – профили, 4 – площадь конуса выноса, 5 – осевая часть конуса (русло и прирусловые валы); *г*: 1–3 – контуры осадочных тел: 1 – *а*, 2 – *б*, 3 – *в*; 4 – сейсмопрофили; 5–7 – площади конусов выноса: 5 – *а*, 6 – *б*, 7 – *в*.

от 2 до 3 км и более (Горшков и др., 1993). Полигон, выполненный в экспедиции 1993 г., расположен вдоль основного рукава палеодельты. По данным предшествующих сейсмических исследований МОВ ОГТ западнее полигона располагаются менее крупные рукава палеодельты (Шимкус и др., 1997).

Гигантская аккумулятивная структура, занимающая весь северо-западный склон черноморской впадины от Крыма до Болгарии, представляет собой сложное образование, которое состоит из большого количества конусов различных размеров. Собственно Дунайскими являются конусы, расположенные в осевой зоне этого огромного аккумулятивного тела и западнее от него. Конусы выноса палео-Днепра, палео-Днестра и, возможно, каких-то крымских рек, находятся восточнее.

## СЕЙСМОКОМПЛЕКСЫ КОНУСА ВЫНОСА

В поперечном разрезе конуса выноса на разной глубине уверенно выделяются осадочные образования, имеющие четко выраженную треугольную форму в сечении (рис. 2б). Они прослеживаются от профиля к профилю на всей площади полигона и представляют собой валообразные по форме аккумулятивные тела. Каждое из этих аккумулятивных тел перекрыто, как правило, слоем тонкослоистых осадков. Валообразные аккумулятивные осадочные образования представляют собой погребенные палеоконуса, образовавшиеся во время одной из регрессий Черного моря. Перекрывающая их слоистая осадочная толща отложилась в других условиях осадконакопления, очевидно, в период последующей

трансгрессии моря. Таким образом, в разрезе дунайского конуса выноса мы наблюдаем циклическое чередование осадочных толщ, образовавшихся в различных физико-географических условиях: трансгрессии и регрессии моря. Осадочные отложения, образовавшиеся в период трансгрессии моря (трансгрессивная толща), несогласно перекрывают палеоконуса, сформировавшиеся в период регрессии моря (регрессивная толща). Граница углового несогласия отделяет и трансгрессивную толщу от вышележащей толщи, которая отложилась при очередной новой регрессии. В пределах выполненного полигона в разрезе дунайского конуса выноса выделяются три цикла регрессий – трансгрессий, которым соответствуют три сейсмокомплекса отложений, каждый из которых включает ярко выраженное валообразное по форме аккумулятивное тело, соответствующее фазе регрессии моря, и перекрывающие его, как правило, слоистые осадочные образования, соответствующие фазе трансгрессии моря (рис. 2).

Наибольший объем осадочного материала содержит нижний комплекс, наименьший – верхний. Верхний комплекс пока не имеет достаточно сформировавшейся трансгрессивной части: она находится в процессе образования.

Палеоконуса у подножья материкового склона постепенно вышележиваются и переходят в субгоризонтально слоистые пластообразные осадочные образования (рис. 2в). Более молодые аккумулятивные тела наращивают конус выноса в направлении глубоководной впадины. Осадочное тело конуса выноса верхнего комплекса продвинуто на 45–50 км в сторону глубоководной впадины по отношению к палеоконусу нижнего комплекса.

Гребень каждого палеоконуса представляет собой в плане морфоструктуру типа меандрирующего потока (рис. 1). Поверхность конуса выноса верхнего комплекса, которая представляет современный рельеф дна, была откартирована локатором бокового обзора (Шимкус и др., 1997) и имеет вид обычной крупной реки (в данном случае подводной) с меандрами большой амплитуды. Все три основных палеоконуса протягиваются вдоль осевой части полигона в северо-западном-юго-восточном направлении. Наиболее сильно смещен на юг гребень среднего комплекса по отношению к верхнему и нижнему. Амплитуда смещения достигает 20–25 км.

## СЕЙСМОФАЦИИ КОНУСА ВЫНОСА

Все три выделенных в осадочной толще дунайского конуса выноса сейсмокомплексы содержат однотипный набор сейсмофаций как для отложений, образовавшихся в период регрессии, так и трансгрессии. Характерные сейсмофации слагают отложения аккумулятивных валов, погребенных эрозионных долин, в разной степени заполненных осадочным материалом, а также субгоризонталь-

ные прерывисто-слоистые толщи, прислоняющиеся к валам, и параллельно слоистые осадки, обычно маломощные, облекающие как аккумулятивные валы, так и прислоняющиеся к ним отложения.

Сейсмофации регрессивной и трансгрессивной серий осадочных отложений значительно различаются между собой для верхней и средней частей конуса. И только в дистальной части конуса, где аккумулятивное тело регрессивной серии теряет морфологические признаки вала и приобретает пластообразную форму, сейсмофации регрессивной и трансгрессивной серий становятся мало различимыми.

Наибольшим разнообразием типов сейсмофаций характеризуется верхний комплекс. Это связано, очевидно, с особенностями сейсмического метода, для которого характерно уменьшение разрешающей способности (детализации геологического разреза) с увеличением глубины залегания осадочных отложений и увеличение эффекта сглаживания геологических форм. Общими для всех трех сейсмических комплексов являются следующие закономерности. Вдоль конуса выноса происходят плавные фациальные замещения и переходы одних фаций в другие. При этом в центральной части аккумулятивного тела регрессивной серии каждого комплекса располагаются, как правило, сейсмофации с наиболее хаотичной или мелко бугристой структурой (рис. 3в). На крыльях гребня появляются сигмовидные, клиноформные и слоистые фации с подошвенным прилеганием (рис. 3б). Трансгрессивные серии представлены, в основном, субпараллельными, сигмовидными и бугристыми сейсмофациями (рис. 2б, 2в). В верхней части материкового склона в аккумулятивном теле регрессивной серии на протяженных участках обычно прослеживаются несколько четких отражающих горизонтов. В центральной части склона они исчезают, а в дистальной части аккумулятивное тело слагают более тонко слоистые и относительно упорядоченные сейсмофации (рис. 3г).

Трансгрессивные серии осадков всех трех комплексов практически идентичны и представлены, в основном, отложениями с субпараллельной слоистостью (рис. 2в). Близкие по структуре сейсмофации плавно переходят одна в другую как по простиранию конуса выноса, так и в поперечном сечении.

### *Фации верхнего регрессивного комплекса*

Центральную часть аккумулятивного вала слагает мелкобугристая сейсмофация (рис. 3в). На крыльях вала бугристая фация постепенно замещается фацией с субпараллельной слоистостью с подошвенным прилеганием (рис. 3б). На сейсмических разрезах 10 и 12 (центральная часть полигона – это, примерно, средняя часть по простиранию аккумулятивного вала) внутренняя структура становится менее определенной, более хаотичной, сейсмически более прозрачной. В верхней части

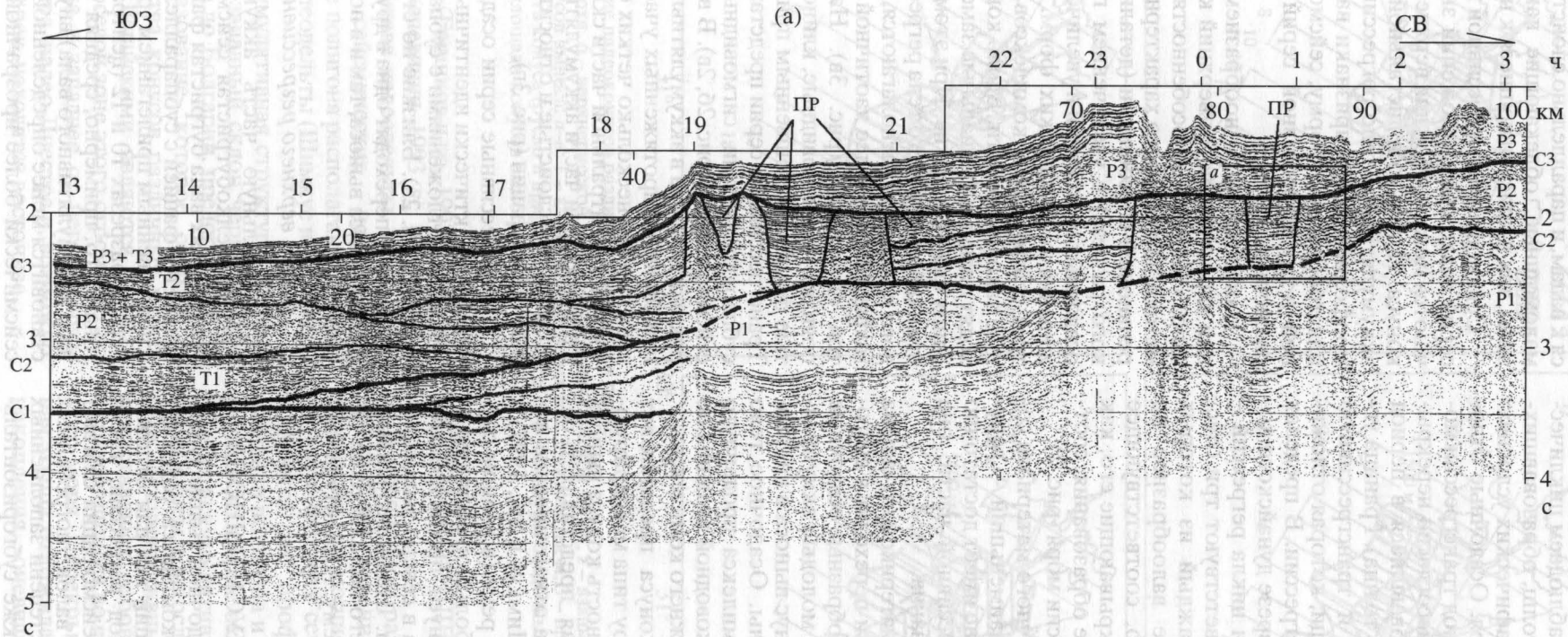


Рис. 2. Начало.



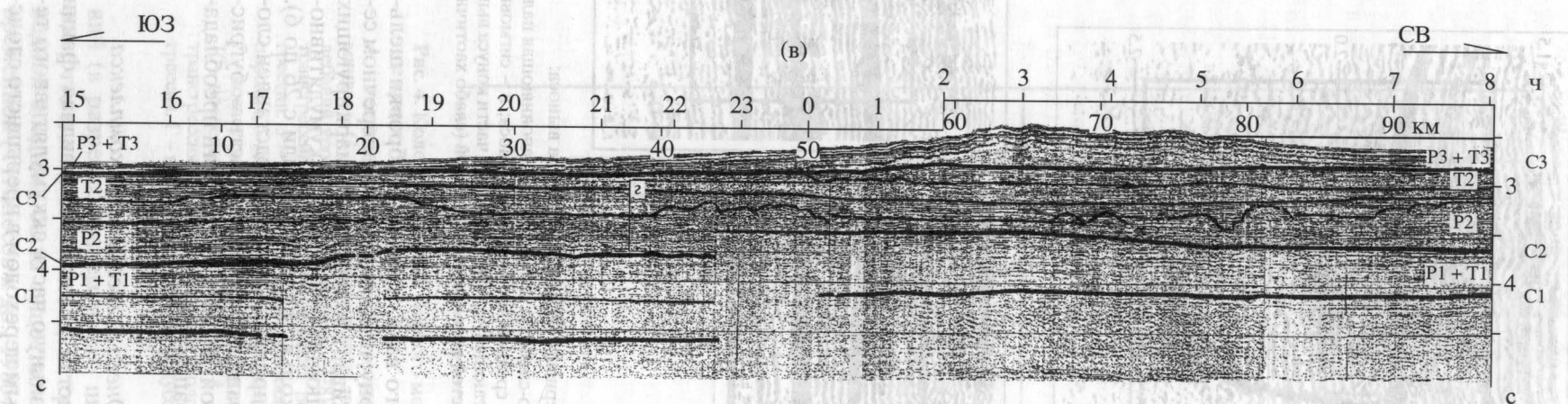
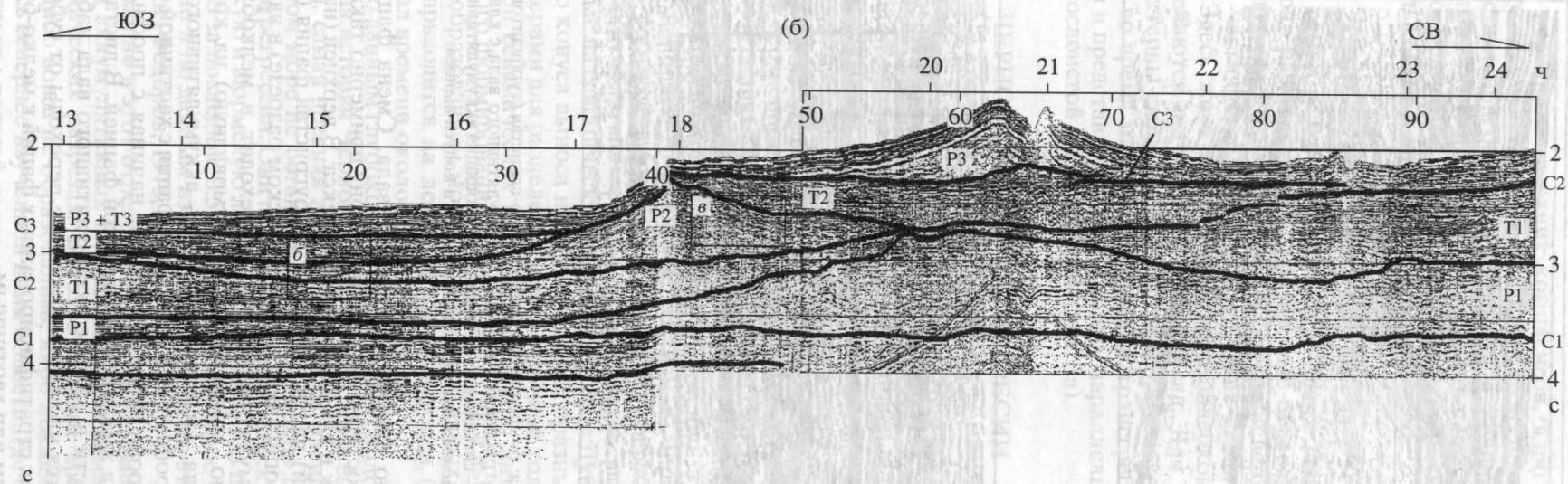
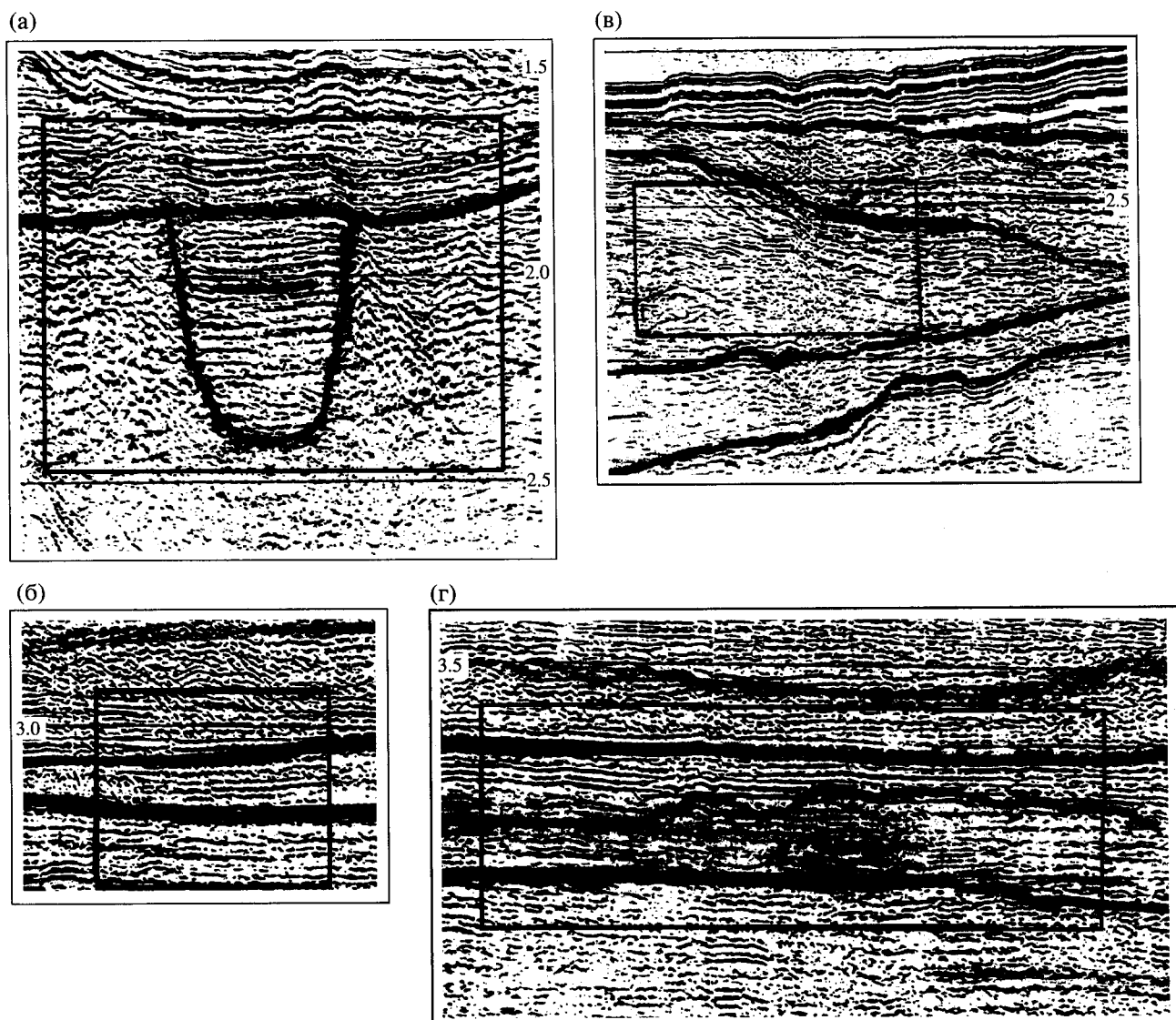


Рис. 2. Характерные сейсмические разрезы Дунайского конуса выноса.

а – профиль 24; б – профиль 6; в – профиль 18. Положение профилей показано на рис. 1. Индексами обозначены сейсмические комплексы погребенных конусов выноса: С1 – нижний, С2 – средний, С3 – верхний (Т1–Т3 – трансгрессивная серия, Р1–Р3 – регрессивная серия отложений); ПР – врезы палеорусел.



**Рис. 3.** Характерные сейсмофации конуса выноса:

а – параллельно-слоистая сейсмофация, заполняющая палеоруслу; б – фланговая параллельно-слоистая (турбидитовая) сейсмофация в средней части конуса выноса; в – сигмовидно-бугристая сейсмофация аккумулятивного вала с клиноформной (налегающей) толщиной в средней части конуса выноса; г – сигмовидно-бугристая сейсмофация аккумулятивного вала с прерывистой параллельно-слоистой (слабо хаотичной) сейсмофацией в дистальной части конуса выноса.

аккумулятивного вала, начиная от бровки шельфа вниз по склону, после врезов в поперечном сечении прослеживается несколько маркирующих границ, разделяющих отложения аккумулятивного вала на несколько слоев (профили с 26 по 6). Верхний слой (профили 24 и 26) представлен слоистой сейсмофацией, остальная часть – бугристой, сигмовидной. В дистальной части преобладают слоистые фации (рис. 2в).

#### *Фации среднего регрессивного комплекса*

Мелкобугристая и мелкосигмовидная фации слагают центральную часть аккумулятивного тела с постепенным переходом в прерывисто слоис-

тую фацию на крыльях вала. Смена фаций по простиранию вниз по склону примерно такая же, как и для верхнего комплекса. В верхней (начальной) части (профиль 26) бугристая фация (слабо прописанная на сейсмическом разрезе) в ядре аккумулятивного тела переходит в мелкобугристую, клиноформную (сигмовидную) на крыльях вала. Центральную часть аккумулятивного тела (профили 22–12) слагает фация с хаотичной структурой. Ниже по склону, начиная с профиля 14, она замещается бугристой фацией. В дистальной части в разрезе аккумулятивного вала наблюдаются частые фациальные переходы от субслоистых стратифицированных фаций к мелко-бугристым или хаотичным.

*Фашии нижнего регрессивного комплекса*

В отличие от верхних комплексов, ядро нижнего аккумулятивного вала почти по всей длине представлено в основном хаотичной и крупно бугристой сейсмофациями, либо фацией с неясной, слабо различимой слоистостью, переходящей на крыльях вала в фацию волнистослоистую.

*Фашии эрозионных подводных долин*

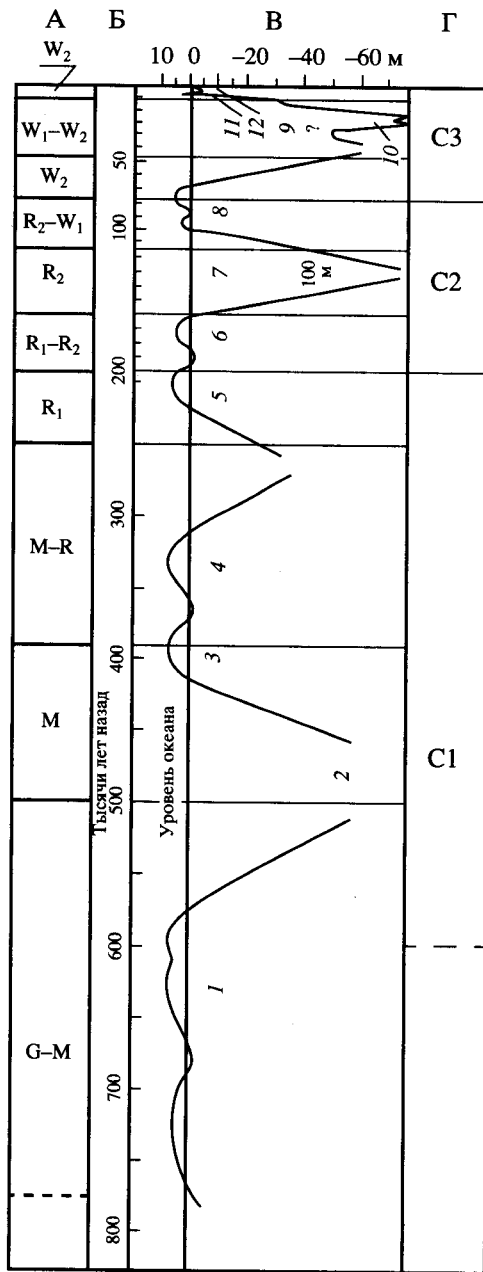
В самой верхней части материкового склона широко распространены эрозионные подводные долины, глубоко врезанные в отложения верхнего и частично среднего сейсмических комплексов. Здесь же в толще дунайского палеоконуса встречаются погребенные палеоруслу. Для них характерны свои сейсмофации, которые накопились во время максимальной фазы трансгрессии моря и представлены, как правило, параллельно-тонкослоистой сейсмофацией (рис. 3а).

**ЧЕРНОМОРСКИЕ ТРАНСГРЕССИИ И РЕГРЕССИИ**

В Черном море значительные колебания уровня моря, сопровождающиеся глубокими регрессиями, начинаются с миндельской ледниковой эпохи (Федоров, 1978, 1984). Наиболее крупные регрессии, во время которых уровень моря понижался на 60–100 м и более, произошли в миндельскую, верхнерисскую и верхневюрмскую эпохи, соответственно 500, 140 и 30 тыс. лет назад (рис. 4) во время чаудинского, узунларского и карангатского оледенений. По-видимому, именно этим трем наиболее глубоким регрессиям в Черном море соответствуют самые крупные погребенные аккумулятивные валы палеоконусов, выделенные на сейсмических разрезах в толще Дунайского конуса выноса и ставшими своеобразными маркерами для разделения всей осадочной толщи на три сейсмических комплекса. Начало интенсивного формирования Дунайского конуса выноса с образованием мощных аккумулятивных валов приходится на ледниковый плейстоцен (интервал времени около 1 млн. лет).

По данным глубоководного бурения (Геологическая история Черного моря..., 1980; Ross et al., 1978), самая древняя ледниковая эпоха (гюнц) в Черном море не оставила явных признаков глубокой регрессии. Они проявились в миндельскую, рисскую и вюрмскую ледниковую эпохи, т.е. примерно за последние 0.5 млн. лет. То же самое выявлено и по данным изучения прибрежных отложений (Федоров, 1978, 1984).

Именно в этот отрезок времени укладывается серия аккумулятивных тел, выделенных нами на сейсмических разрезах. В более древнее время они либо вовсе не образовались, либо локализовались севернее изученной нами области, где они перекрыты толщей палеоавандельтных отложе-



**Рис. 4.** Колебания уровня Черного моря в четвертичное время.

А – геологические эпохи. W – вюрм; R – рисс; М – миндель; G – гюнц; Б – возраст, тыс. лет; В – кривая колебаний уровня моря (Федоров, 1978); 1 – чаудинская трансгрессия; 2 – послечаудинская регрессия; трансгрессии: 3 – ранняя древнеэвксинская, 4 – палеоузунларская, 5 – поздняя древнеэвксинская, 6 – узунларская, 7 – послеузунларская, 8 – карангатская, 9 – сурожская; 10 – послекарангатская регрессия, 11 – новозэвксинская трансгрессия, 12 – черноморская (голоценовая) трансгрессия. Г – порядковые номера конусов выноса.

ний (в разрезах современного шельфа). Дело в том, что в начале плейстоцена граница глубоководной впадины была существенно севернее современной (Туголесов и др., 1985).

Принимая во внимание вышеприведенные данные, может быть принята следующая схема сейсмостратиграфического деления изученной осадочной толщи Дунайского конуса выноса. Первый (нижний) сейсмокомплекс (С1), вероятнее всего, сформировался во время миндельской регрессии и миндельрисской трансгрессии; второй (средний С2) – во время позднеерисской регрессии и ррисс-вюрмской трансгрессии; третий (верхний С3+) – во время вюрмской регрессии и голоценовой трансгрессии.

Продолжительность накопления каждого сейсмического комплекса была различной. Нижний комплекс (С1) формировался наиболее продолжительно, примерно 400 тыс., средний (С2) – около 100 тыс., а верхний (С3) – 30–40 тыс. лет. В период между миндельской и позднеерисской трансгрессиями, характеризующимися, как уже отмечалось выше, понижениями уровня моря значительной амплитуды, происходили колебания уровня моря с гораздо меньшей амплитудой (10–20 м). Во время этих малоамплитудных регрессий и трансгрессий накапливались осадочные тела, которые усложняли структуру конуса выноса. Именно этим объясняется сложная структура трансгрессивной серии нижнего комплекса конуса выноса. Кроме осадочных отложений, образовавшихся во время основной фазы трансгрессии, наступившей после миндельского оледенения (ранняя древнеэвксинская трансгрессия), в структуре нижнего комплекса С1 в его “регрессивной серии” выделяются отложения, соответствующие нескольким малоамплитудным колебаниям уровня моря (палеоузунларская, поздняя древнеэвксинская, узунларская регрессии трансгрессии). Регрессивная серия нижнего комплекса (Р1) характеризуется большой мощностью и сложным строением.

Приведенная интерпретация существенно отличается от ранее опубликованной в статье Шимкуса и др. (1997), в которой нет разделения на регрессии большой и незначительной амплитуды, в которой утверждается, что во время трансгрессии (т.е. при высоком уровне моря) практически не происходит формирование аккумулятивных осадочных образований конуса выноса, так как нормальное осадконакопление играет незначительную роль, а вынос терригенного материала резко уменьшается.

Однако это не всегда так. Мы знаем примеры образования мощных конусов выноса в различных морях и океанах при высоком стоянии уровня моря, например, конус выноса в центральной части Ионического моря, который берет начало в проливе Отранто (Москаленко и др., 1976), гигантский конус выноса реки Брахмапутры в Индийском океане, который протягивается до абиссальной части океана (Cochran et al., 1989). И при высоком стоянии уровня моря объем твердого стока полноводных рек с большой площадью водосбора, большинство

притоков которых начинаются в горных областях, существенно не уменьшается. Происходит перераспределение областей осадконакопления. При высоком стоянии уровня моря крупная фракция терригенного материала осажается в области шельфа, а на материковом склоне накапливаются более тонкая фракция осадков, образуя слоистые пластообразные сейсмофации.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 98-05-64552.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения. М.: Наука, 1980. 202 с.
- Горшков А.С., Мейснер Л.Б., Соловьев В.В. и др. Пояснительная записка к альбому структурных карт и карт мощностей кайнозойских отложений Черноморской впадины. Масштаб 1 : 1500000. Геленджик: ГПИ НИПИОкеангеофизика, 1993. 71 с.
- Казанцев Р.А., Шайнуров Р.В. Конус выноса мутьевых потоков Дунайского подводного каньона // Геоморфология. 1978. № 3. С. 79–82.
- Коган Л.И., Шимкус К.М., Москаленко В.Н. и др. Новые данные о глубинной структуре Черноморской впадины (по материалам глубинного сейсмопрофилеирования – МОВ) // Докл. АН СССР. 1987. Т. 297. № 3. С. 677–681.
- Москаленко В.Н., Шимкус К.М., Маловицкий Я.П., Евсюков Ю.Д. “Осадочные реки” центрального бассейна Средиземного моря // Бюл. МОИП. Отд. геологии. 1976. Т. LI(3). С. 113–118.
- Туголесов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б. и др. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины. М.: Недра, 1985. 215 с.
- Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 186 с.
- Федоров П.В. Глобальные трансгрессии в геологической истории Черного моря // Изучение геологической истории и процессов современного осадкообразования Черного и Балтийского морей. Киев: Наукова думка, 1984. Ч. 1. С. 39–43.
- Шимкус К.М., Москаленко В.Н., Хохалев А.М. и др. Новые данные о строении и сейсмостратиграфии Дунайского конуса выноса // Океанология. 1997. Т. 37. Вып. 2. С. 295–302.
- Cochran J.R., Stow D.A.V., Auroux C.A. et al. Scientific results // Proc. ODR. Initial. Repts. 116. College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1989. 388 p.
- Finnetti I., Bricchi G., Del Ben A. et al. Geophysical study of the Black Sea // Boll. geofis. teor. ed applicata. 1988. V. 30. № 117–118. P. 197–324.
- Ross D.A. Summary of results of Black Sea Drilling // Initial. Rep. DSDR. Washington. 1978. V. 42. Part 2. P. 1149–1178.
- Ross D.A., Uchupi E., Bowin C.O. Shallow structure of Black Sea. The Black Sea. Geology, Chemistry and Biology / Degens E.T. and Ross D.A. (eds). // Amer. Assoc. Petrol. Geologists. 1974. Mem. 20. P. 11–34.

Рецензенты Ю.Б. Гладенков,  
А.Е. Шлезингер